

# **ONTWIKKELING VAN 'N REKENAAR NUMERIES-BEHEERDE RADIAAL FREESMASJEN VIR GEBRUIK IN RADIOTERAPIE**

**JACOBUS GERT VAN DER WALT**

Verhandeling voorgelê ter voldoening aan die vereistes vir die graad

**MAGISTER TECHNOLOGIAE:  
INGENIEURSWESE: MEGANIES**

in die

Departement Meganiese Ingenieurswese  
Fakulteit Ingenieurswese

aan die

Technikon Vrystaat

Studieleier: Mnr. D.J. de Beer, M. Dip. Tech (Meg. Ing.)  
Medestudieleier: Dr. J. Duvenage, PhD. (Biofisika)

BLOEMFONTEIN  
November 2001

## VERKLARING

Ek, Jacobus Gert van der Walt, verklaar hiermee dat die navorsingsprojek wat vir die verwerwing van die graad MAGISTER TECHNOLOGIAE: INGENIEURSWESE: MEGANIES aan die Technikon Vrystaat deur my voorgelê word, my selfstandige werk is en nie voorheen deur my of enige ander persoon ter verwerwing van enige kwalifikasie voorgelê is nie.



.....  
J.G. van der Walt

Student

.....  
11/3/2002  
Datum

## BEDANKINGS

Ek wil eerstens dank betuig teenoor my Hemelse Vader vir krag en gesondheid om hierdie verhandeling te kon aanpak en voltooi.

My waardering aan my broer Mnr. Karel van der Walt vir die ontwerp en bou van elektroniese stroombane asook die skryf van sagteware vir die projek.

My dank aan Mnr. D. de Beer, my studieleier, vir sy onbaatsugtige hulp, raad en tyd wat hy opgeoffer het.

‘n Woord van dank ook aan my mede studieleier, Dr. J. Duvenage vir die skryf van sagteware vir die projek asook die proeflees van die verhandeling.

My dank aan Prof. L. Goedhals hoof van Dept. Onkoterapie, Nasionale Hospitaal vir toestemming dat ek die departement se toerusting en fondse kon aanwend vir my navorsing.

Sonder die finansiële hulp van die NRF sou hierdie navorsingsprojek nie vir my moontlik gewees het nie, ‘n woord van dank ook aan die instelling.

Ek is ook dank verskuldig aan die volgende persone:

Dr. C. Willemse vir sy hulp met die behandelingsbeplanningstelsel.

Al my kollegas, vriende en familie vir hulle hulp, bystand en ondersteuning.

Diepliggende kanker word algemeen behandel deur bestraling met hoë energie X-strale. Probleme ontstaan egter wanneer 'n gewas onder 'n ongelyke vel area bestraal word, aangesien die hoeveelheid weefsel tussen die vel en gewas varieër oor die bestralingsveld. Die oorgedraagde bestralingsdosis sal gevolglik ook varieër deur die volume van die gewas. Hierdie effek lei tot onakkurate behandeling wat aandag noodsaak.

'n Effektiewe oplossing vir die probleem is om 'n kompenseringsfilter na gelang van die ongelyke behandelingsarea op die pasiënt te vervaardig. Met so 'n kompensator in die behandelingsveld tydens bestraling word die effek van variasie in die hoeveelheid weefsel tussen die vel en gewas gekanselleer om 'n egalige dosisverspreiding te verseker. Die doeltreffendheid van bestaande tegnieke om kompensators te vervaardig is egter onvoldoende in sommige opsigte.

Hierdie studie bespreek die ontwikkeling van 'n bekostigbare rekenaar numeriees-beheerde (RNB) freesmasjien wat gebruik word in 'n hersiende tegniek om kompensators te vervaardig. Kontoerdata van die ongelyke behandelingsarea op die pasiënt word ingesamel d.m.v. rekenaartomografie. Hierdie data word verwerk deur 'n behandelingsbeplanningsrekenaar om die RNB-freesmasjien instaat te stel om 'n negatief van die kompensator uit 'n polistireen blok te sny.



Die gesnyde holte word gevul met 'n kompenseringsmedium met die korrekte digtheid om 'n kompensator te voltooi. Toetsing van kompensators wat met die kompensator-vervaardigingstegniek vervaardig is, toon effektiewe kompensering vir ongelyke behandelingsareas onder gesimuleerde behandelingstoestande.

## ABSTRACT

Deeply situated cancer is commonly treated by means of irradiation with high energy X-rays. Problems do arise however when a tumor is irradiated below an uneven skin surface since the amount of tissue between the skin and tumor varies across the radiation field. As a result of this, the transferred radiation dose will also vary through the volume of the tumor. This effect results in inaccurate treatment that necessitate attention.

An effective solution to the problem will be to fabricate a compensating filter according to the uneven treatment area on the patient. With such a compensator in the treatment field during irradiation, the effect of variation in the amount of tissue between the skin and tumor will be cancelled to ensure even dose distribution. The effectiveness of existing techniques to fabricate compensators are insufficient in some respects.

This study discusses the development of an affordable computer numerical control (CNC) milling machine that is used in a revised technique to fabricate compensators. Contour data of the uneven treatment area on the patient is obtained by means of computer tomography. This data is processed by a treatment planning computer to enable the CNC milling machine to cut a negative of the compensator from a polystyrene block.

The machined cavity is filled with a compensating medium with the correct density to complete a compensator. Testing of compensators that were fabricated by this means of compensator fabrication shows effective compensation for uneven treatment areas under simulated treatment conditions.

## HOOFSTUK 1

### INLEIDING

1.1	Voorwoord	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Hipotese	3
1.4	Doel van die ondersoek	3
1.5	Belangrikheid van die studie	4
1.6	Metode van ondersoek	4

## HOOFSTUK 2

### KLINIESE TOEPASSING VAN RADIOTERAPIE

2.1	Inleiding	6
2.2	Normale liggaamselle en kankerselle	6
2.3	Die uitwerking van die kankergewas	7
2.4	Kankerbehandeling deur radioterapie	7
2.5	Die biologiese basis van radioterapie	8
2.6	Verskillende soorte X-strale en bestralingseenhede	9
2.7	Elektronversneller werking	11
2.8	Fisika agtergrond	14
2.9	Stralingsbundeleienskappe	14
2.9.1	Dieptedosiskrommes	14
2.9.1.1	Bundelenergie	16

2.9.1.2	Veldgrootte	17
2.9.1.3	Fokus-vel-afstand (FVA)	18
2.9.2	Isodosisverspreiding	21
2.9.2.1	Bundelkwaliteit	22
2.9.2.2	Fokusgrootte, fokus-vel-afstand en fokus- diafragma-afstand	23
2.9.2.3	Kollimasie	24
2.9.2.4	Veldgrootte	25

### HOOFSTUK 3

#### ONEGALIGE BEHANDELINGSAREAS:

##### KONTOERBEPALING & KOMPENSATOR-VERVAARDIGINGSTEGNIEKE

3.1	Inleiding	26
3.2	Korreksie vir ongelyke liggaamsprofile	26
3.3	Bolus en kompenseringfilters	27
3.4	Faktore wat kompensering beïnvloed	28
3.5	Bepaling van lineêre attenuasiekoëffisiënt en dikte van 'n kompenseringsmedium	29
3.5.1	Bepaling van lineêre attenuasiekoëffisiënt	31
3.5.2	Bepaling van kompenseringsmedium-dikte	32
3.6	Liggaamskontoerbepaling	32
3.6.1	Fisiese metings	33
3.6.2	Fotografiese tegniek	33
3.6.3	Horisontale-flitsbuis tegniek	34



3.6.4	Moiré topografiese tegniek	35
3.6.5	Rekenaargesteunde kontoerbepaling	36
3.6.6	Video-gebaseerde kontoerbepaling	38
3.6.7	Rekenaartomografie	40
3.7	Bestaande kompensator-vervaardigingstegnieke	43
3.7.1	Aluminium kompensators	43
3.7.2	Was kompensators	46
3.7.3	Loodplaat kompensators	49
3.7.4	Rekenaarbeheerde kompensatorsnyers	50
3.7.4.1	Huestis Compuformer™	51
3.7.4.2	HEK Medizintechnik™	51
3.7.4.3	Par Scientific™	53
3.8	Kompenseringsmediums	54
3.8.1	MCP-70 allooï	54
3.8.2	Vlekvrye staal balletjies	55
3.8.3	Tin balletjies met byewas	55
3.8.4	Vlekvrye staal balletjies met gips	56
3.9	Gevolgtrekking	57

## **HOOFSTUK 4**

### **ONTWIKKELING VAN 'n RNB-FREESMASJIE**

4.1	Inleiding	58
4.2	Agtergrond van numeriese-beheer en rekenaar numeriese-beheerde masjiene	58

4.2.1	Wat is numeriese-beheer?	59
4.2.2	Rekenaar numeries-beheerde masjiene	59
4.2.2.1	Identifikasie van as-bewegings in RNB masjiene	60
4.2.2.2	Beheerstelsels vir RNB masjiene	61
4.3	Ontwerp kriteria vir 'n plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien	61
4.4	Stelsel hardeware: Meganies	62
4.4.1	Z-beweging	67
4.4.2	X-beweging	70
4.4.3	Y-beweging	72
4.4.4	Raamwerk	73
4.4.5	Vakuumstelsel	74
4.4.6	Ventilasie stelsel	74
4.5	Stelsel hardeware: Elektronies	75
4.5.1	Stappermotors	75
4.5.2	Stappermotor-drywer borde	76
4.5.3	Koppelvak bord	79
4.5.4	Die kragbron	81
4.5.4.1	12V toevoer spanning	82
4.5.4.2	36V toevoer spanning	82
4.5.4.3	Snymotor stroom monitor	83
4.5.4.4	Vaste-toestand relê	83

## HOOFSTUK 5

### REKENAARSAGTEWARE

5.1	Inleiding	84
5.2	Installering van die sagteware	84
5.3	Die hoofblad uitleg	85
5.4	Funksie sleutels	89
5.4.1	“Load” sleutel	89
5.4.2	“Start” sleutel	90
5.4.3	“Home” sleutel	90
5.4.4	“Quit” sleutel	90
5.4.5	“*” sleutel	91
5.4.6	“!” sleutel	91
5.4.7	“?” sleutel	92
5.5	Masjienbeheer-sagtewareroetines	92
5.5.1	“Soek” roetine	92
5.5.2	“Uit-In” en “In-Uit” roetines	94
5.5.2.1	“Uit-In” roetine	95
5.5.2.2	“In-Uit” roetine	95
5.5.3	“Fyn snit” roetine	96

## HOOFSTUK 6

### ONTWIKKELING VAN ‘n KOMPENSERINGSMEDIUM

6.1	Inleiding	97
-----	-----------	----

6.2	Uitvoering	98
6.3	Metings en resultate	98
6.4	Gevolgtrekking	100

## **HOOFSTUK 7**

### **EVALUERING VAN DIE RNB-FREESMASJIE**

7.1	Inleiding	101
7.2	Evaluasie van dosisdistribusie	101
7.2.1	Weefselekwivalente fantoom	102
7.2.2	Rekenaartomograaf	103
7.2.3	Behandelingsbeplanningsrekenaar	104
7.2.4	Interpolasie sagteware	105
7.2.5	Kompensator-vervaardiging	106
7.2.6	Addisionele kompensators	106
7.2.7	Toetsing van die kompensators	107
7.2.8	X-straalfilm data	108
7.3	Gevolgtrekking	110

## **HOOFSTUK 8**

### **SAMEVATTING**

8.1	Oorsig	112
8.2	Verdere navorsingsvoorstelle	114

## **BYLAAG A**

### **ELEKTRONIESE STROOMBANE**

A1	Stappermotor-drywer bord	117
A2	Koppelvlak bord	118
A3	Kragbron bord	119

## **BYLAAG B**

### **KOMPENSERINGSMEDIUM METINGS**

B1	Metings van Gips-was-olie teen 6MV	121
B2	Metings van Tandheelkundigewas teen 6MV	122
B3	Metings van Gips-was-olie teen 8MV	123
B4	Metings van Tandheelkundigewas teen 8MV	124
B5	Metings van Gips-was-olie teen 15MV	125
B6	Metings van Tandheelkundigewas teen 15MV	126
B7	Grafiek van $\ln(T)$ teen dikte by 6MV	127
B8	Grafiek van $\%(T)$ teen dikte by 6MV	127
B9	Grafiek van $\ln(T)$ teen dikte by 8MV	128
B10	Grafiek van $\%(T)$ teen dikte by 8MV	128
B11	Grafiek van $\ln(T)$ teen dikte by 15MV	129
B12	Grafiek van $\%(T)$ teen dikte by 15MV	129

## **BYLAAG C**

### **ISODOSIS- EN ISODIGTHEIDSKROMMES**

C1	Isodosiskrommes (Cadplan: sonder kompensator)	131
----	---	-----



C2	Isodosiskrommes (Cadplan: met kompensator)	132
C3	Isodigtheidskrommes (sonder kompensator)	133
C4	Isodigtheidskrommes (aluminium kompensator)	134
C5	Isodigtheidskrommes (was kompensator)	135
C6	Isodigtheidskrommes (gips-was kompensator)	136

<b>LITERATUURLYS</b>	<b>137</b>
----------------------	------------

## LYS VAN FIGURE EN TABELLE

	Bladsy
Figuur 1.1 Vloeiagram van die navorsingsmetode.	5
Figuur 2.1 Uitleg van 'n X-straalbuis en stroombaan.	10
Figuur 2.2 Uitleg van 'n lineêre elektronversneller.	12
Figuur 2.3 Berekening van wisseling in persentasie dieptedosis.	15
Figuur 2.4 Sentrale-as dieptedosis distribusies vir verskillende X-straalbundels.	16
Figuur 2.5 Uitstraling om 'n radioaktiewe puntbron.	18
Figuur 2.6 Relatiewe dosistempo teenoor afstand van 'n bestralingsbron.	20
Figuur 2.7 Isodosiskrommes van (A) 200 kV, (B) 2 MV en (C) 20 MV.	21
Figuur 2.8 Berekening van geometriese penumbra.	23
Figuur 3.1 Isodosiskrommes om die gebruik van bolus en kompenseringfilters te illustreer.	27
Figuur 3.2 Versneller opstelling om kompensatordikte te bepaal.	30
Figuur 3.3 Bepaling van lineêre attenuasiekoëffisiënt.	30
Figuur 3.4a Opstelling vir 'n inkbild kontoerbepalingstegniek en 'n kontoerfoto geneem met die tegniek, Figuur 3.4b.	33
Figuur 3.5 Opstelling vir 'n horisontale-flitsbuis kontoerbepalingstegniek.	35
Figuur 3.6 Opstelling vir 'n Moiré topografiese-kontoerbepalingstegniek.	36
Figuur 3.7a Opstelling vir 'n rekenaargesteerde kontoerbepalingstegniek en 'n kompensator uitleg bepaal met die tegniek, Figuur 3.7b.	37
Figuur 3.8a Opstelling vir 'n video-gebaseerde kontoerbepalingstegniek en kompensator uitleg bepaal met die tegniek, Figuur 3.8b.	38

Figuur 3.9a 'n Rekenaartomograafbuis met detektor en 'n moderne apparaat met veelvuldige detektors, Figuur 3.9b.	41
Figuur 3.10a Kontoerbepaling vir 'n aluminium kompensator en 'n voltooide kompensator wat met die tegniek vervaardig is, Figuur 3.10b.	44
Figuur 3.11a Metingsfout en bundelpenetrasiefout, Figuur 3.11b met aluminium kompensators.	45
Figuur 3.12 'n Handbeheerde polistireen kompensatorsnyer.	47
Figuur 3.13a Autimo 2.5D en Autimo 3D, Figuur 3.13b kommersieel- beskikbare kompensatorsnyers.	52
Figuur 3.14a ACD-3 MK3 en ACD-5, Figuur 3.14b kommersieel- beskikbare kompensatorsnyer.	53
Figuur 4.1 Vloeiagram van die ontwikkeling van die plaaslik vervaardigde RNB-freesmasjien.	63
Figuur 4.2 Die plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien.	64
Figuur 4.3 (foto) Die plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien.	65
Figuur 4.4 Z-bewegingseenheid.	67
Figuur 4.5 (foto) Die Z-bewegingseenheid.	65
Figuur 4.6 Z-bewegingseenheid se wurmrat aandrywing.	67
Figuur 4.7 Pendulum aksie van Z-bewegingseenheid.	69
Figuur 4.8 Die X-bewegingseenheid.	70
Figuur 4.9 (foto) Die X-bewegingseenheid.	65
Figuur 4.10 Die X-bewegingseenheid se kettingaandrywing.	71
Figuur 4.11 Die Y-bewegingseenheid.	72

Figuur 4.12 (foto) Die Y-bewegingseenheid.	66
Figuur 4.13 Die Y-bewegingseenheid se kettingaandrywing.	73
Figuur 4.14 Suigstuk van vakuumstelsel.	66
Figuur 4.15 Waaiers vir ventilasieselsel.	66
Figuur 4.16 'n Stappermotor-drywer bord.	76
Figuur 4.17 Die koppelvlak bord.	80
Figuur 4.18 Die kragbron.	82
Figuur 5.1 Hoofblad van die beheersagteware.	86
Figuur 5.2 Beheersagteware met 'n pasiënt se kontoerdata gelaai.	86
Figuur 5.3 Beheersagteware met 'n gedeeltelik voltooiide kompensator.	87
Figuur 5.4 Beheersagteware met 'n voltooiide kompensator.	87
Figuur 5.5 Lys van beheer opsies.	88
Figuur 5.6 Kalibrasieblad van die beheersagteware.	88
Figuur 5.7 Vloeiagram van masjienbeheer-sagtewareroetines.	93
Figuur 5.8a Voorstelling van Uit-in en In-uit roetine, Figuur 5.8b.	95
Figuur 7.1 'n Weefselekwivalente fantoom.	102
Figuur 7.2 'n Fantoom opgestel vir 'n skandering met 'n rekenaartomograaf.	103
Figuur 7.3a 'n Aluminium kompensator en 'n polistireen blok wat gesny is vir 'n kompensator met 'n C-raam polistireensnyer, Figuur 7.3b.	107
Figuur 7.4 Versneller opstelling tydens kompensator toetsing.	107
Figuur 7.5 Wellhofer™ outomatiese optiese digtheidsmeter.	109

Tabel 2.1	‘n Vergelyking tussen diagnosties-, kilovolt- en megavolt-eenhede.	11
Tabel 6.1	Attenuasiekoëffisiënt waardes vir was en was-gips kompenseringmediums.	99
Tabel 6.2	Voorstelling van watter dikte weefsel 9 cm kompenseringmateriaal verteenwoordig.	99
Tabel 7.1	Vergelyking tussen isodigtheidskrommes van verskillende kompenseringmediums.	110



Bedryfstelsel “Operating system”

Flitsbuis “strobe light”

Fotoraam redigeerder “Frame grabber”

Kapperkring “Chopper circuit”

Koppelvlak “Interface”

Lading gekoppelde opspoorstel “Charge-coupled device detector array”

Rekenaar numeries-beheer (RNB) “Computer numerical control (CNC)”

Relê “Relay”

Spanner-meganisme “Tensioner”

Stappermotor “Stepper motor”

Verwerker “Processor”

# **HOOFSTUK 1**

## **INLEIDING**

### **1.1 Voorwoord**

Alhoewel kanker algemeen geassosieër word met ondraaglike leiding en dood, lewe byna 50% van pasiënte nou 5 jaar of langer na positiewe kanker diagnose of word totaal genees deur hedendaagse behandelingsmetodes. Heelwat meer kanker pasiënte ondervind 'n verlenging in hulle lewensduur of 'n verbetering in die gehalte van hulle oorblywende lewensjare. Die vooruitsig op die toekoms deur 'n beter begrip van die basiese wetenskap van kankerbiologie was nooit meer hoopvol as nou [22, p. 1].

### **1.2 Probleemstelling**

Daar is reeds verskeie suksesvolle behandelingsmetodes ontwikkel in die voortdurende stryd teen kanker. Die behandeling word bepaal deur die tipe kanker, die area waar dit voorkom, die verspreiding daarvan ens. Bestraling met hoë energie X-strale bly steeds een van die mees effektiewe behandelingsmetodes vir diepliggende gewasse. Die X-strale ontstaan vanaf 'n bron in die kop van die behandelingseenheid en divergeer uitwaarts afhangend van die grootte van die opgestelde behandelingsveld. Voor 'n gewas bestraal word binne die liggaam, word daar eerstens 'n teikenvolume vir bestraling om die gewas geïdentifiseer. Dit is noodsaaklik om 'n egalige bestralingsdosisverspreiding deur dié teikenvolume te

verkry vir effektiewe behandeling. 'n Bestralingsveld oor 'n ongelyke vel area sal egter 'n onegalige dosisverspreiding deur die teikenvolume tot gevolg hê aangesien die hoeveelheid weefsel tussen die vel en teikenvolume varieër oor die bestralingsveld. Die dosis wat geabsorbeer word varieër met diepte binne die liggaam, so ook sal die dosisverspreiding varieër deur die teikenvolume in so 'n geval.

'n Weefselekwivalente medium soos bv. paraffienwas kan gebruik word om die ongelykheid van die behandelingsarea op die pasiënt op te vul tot 'n plat vlak wat 'n egalige dosisverspreiding deur die teikenvolume moontlik sal maak. Bestraling deur so 'n was blok in kontak met die pasiënt se vel lei egter tot 'n nadelige velreaksie vir die pasiënt wat ongewens is. Die probleem kan oorkom word deur 'n kompenseringfilter volgens die liggaamskontoure van die ongelyke behandelingsarea op die pasiënt te vervaardig. Die kompensator word weg van die vel, nader aan die bron van behandelingseenheid binne die bestralingsveld gemonteer. Die kompensator word ook in verhouding kleiner gemaak om voorsiening vir die divergensie van die bestraling te maak. Dit sal steeds dieselfde kompenseringvermoë as die was blok op die vel besit, maar daar sal geen velreaksie vir die pasiënt tydens bestraling wees nie. Daar is reeds verskeie tegnieke ontwikkel om kompensators te vervaardig. Daar word ook van verskillende tegnieke gebruik gemaak om die kontoure van die behandelingsarea te bepaal waarvolgens die kompensators vervaardig word.

Die doeltreffendheid van bestaande kompensator-vervaardigingstegnieke word egter nadelig beïnvloed deur een of meer van die volgende faktore:

- Die kompensator-vervaardigingsproses is te tydrowend.
- Die maksimum diepte waarvoor gekompenseer kan word is beperk.
- Akkuraatheid is nie altyd na wense in sekere tegnieke.
- Kommersieel-beskikbare apparate om kompensators mee te vervaardig het onaanvaarbare hoë pryse.

### **1.3 Hipotese**

Van die probleme met bestaande kompensator-vervaardigingstegnieke kan opgelos word deur die nodige apparaat vir akkurate kompensator vervaardiging plaaslik te ontwikkel. Beskikbare toerusting kan gebruik word om die apparaat uit bekostigbare komponente te vervaardig.

### **1.4 Doel van die ondersoek**

Die doel van die ondersoek is om bekostigbare apparaat te ontwikkel waarmee akkurate kompensators vervaardig kan word vir gebruik in radioterapie. Hiermee saam moet daar 'n metode gevind word om die kontoere van die behandelingsarea op die pasiënt akkuraat te bepaal waarvolgens die apparaat kompensators kan vervaardig.

## 1.5 Belangrikheid van die studie

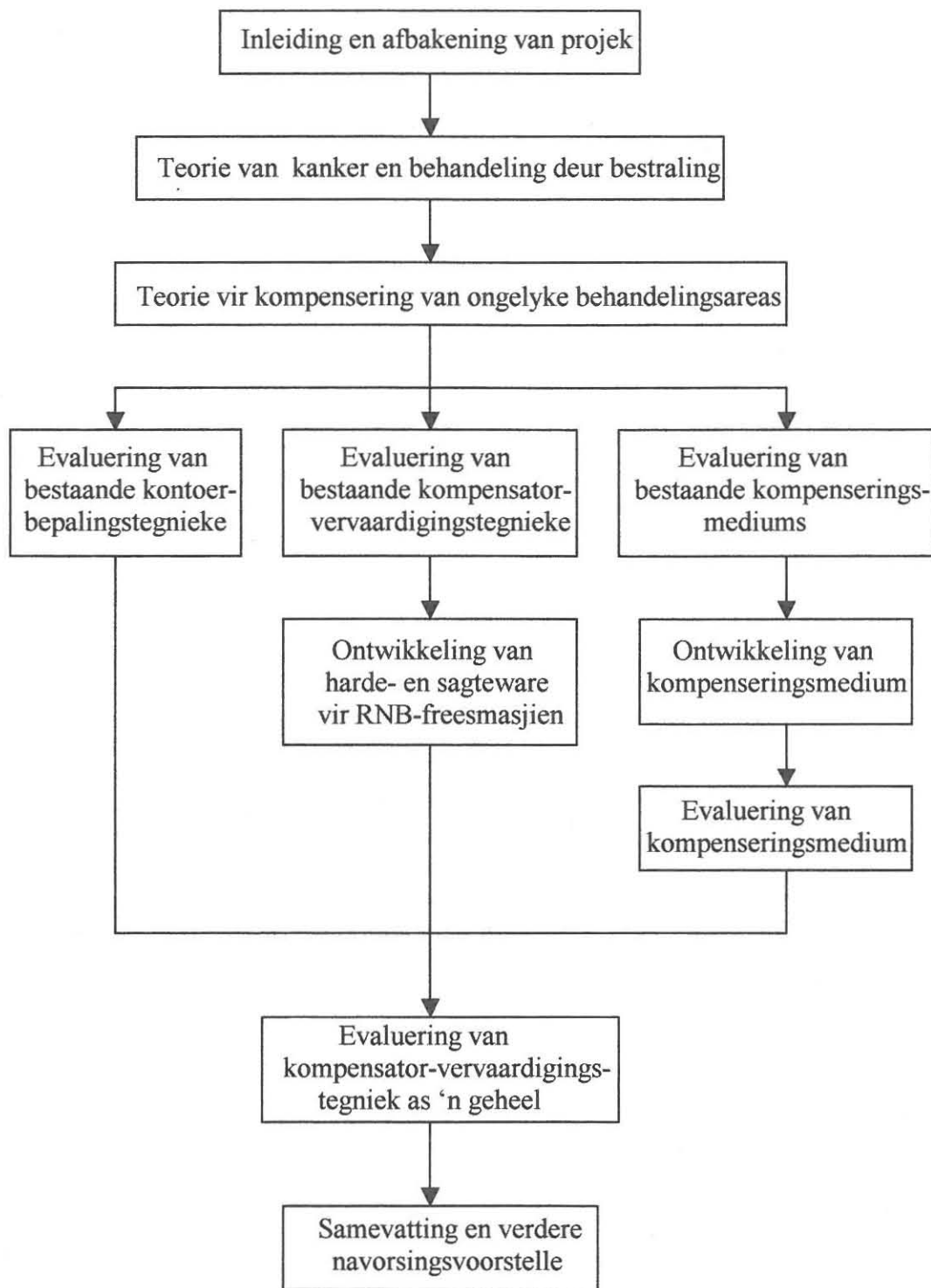
Deur die nodige apparaat vir kompensator-vervaardiging plaaslik te ontwikkel, kan akkurate kompensators op 'n bekostigbare wyse aan kankerpatiënte beskikbaar gestel word. Hierdeur kan die gehalte van behandeling, waar kompensators gebruik word om te kompenseer vir ongelyke behandelingsareas, verbeter word.

## 1.6 Metode van ondersoek

1. Ondersoek bestaande tegnieke om kompensators te vervaardig.
2. Vind die mees effektiewe metode om liggaamskontoere te bepaal.
3. Ontwikkel die nodige apparaat vir die vervaardiging van kompensators.
4. Ontwikkel 'n medium met die korrekte digtheid waaruit kompensators vervaardig kan word.
5. Evalueer die kompensator-vervaardigingstegniek as 'n geheel.

Die samestelling van die verhandeling word in Figuur 1.1 d.m.v. 'n vloedigram getoon.





*Figuur 1.1 Vloediagram van die navorsingsmetode.*

## **HOOFSTUK 2**

### **KLINIESE TOEPASSING VAN RADIOTERAPIE**

#### **2.1 Inleiding**

Ten einde kanker suksesvol te kan behandel is dit nodig om te weet wat die siekte presies is. Dit is egter 'n komplekse onderwerp wat selfs in ons moderne samelewing nie volkome verstaan word nie. 'n Vereenvoudigde verduideliking van wat die siekte behels word vervolgens weergegee om die projek makliker verstaanbaar te maak vir die leser.

#### **2.2 Normale liggaamselle en kankerselle**

Die abnormale funksie van 'n kankersel word die beste verstaan deur na die beheer van 'n normale sel te kyk. Indien iemand 'n besering sou opdoen, bv. 'n snywond aan sy vinger, ontvang die velselle 'n sterk prikkel om te verdeel en die gaping te oorbrug. Sodra die gaping egter gevul is, is daar 'n sterk sein aan die selle om op te hou verdeel. In die normale liggaam ondergaan weefselselle soos bv. die senuweestelsel, long-, spier- en beenweefsel normaalweg nie verdeling nadat volwassenheid bereik is nie. Indien daar egter 'n besering plaasvind, kan groei- en herstel onder sekere omstandighede plaasvind. Sekere weefsel in die liggaam moet egter gedurig vervang word, soos bv. selle van die vel, die slymvlies van die spysverteringskanaal, selle van die beenmurg ens. Hierdie weefsel handhaaf 'n

noukeurige balans, en slegs ongeveer 10% van die selle is gedurig besig om te verdeel, die res is in 'n rusfase. Die enkele, absolute kenmerk van die kankersel is dat hy daardie noukeurige balans verloor het, en gedurig besig is om te verdeel sonder om enigsins die behoefte van die liggaam in ag te neem [1, pp. 3-4].

## **2.3 Die uitwerking van die kankergewas**

Sodra die kankergewas homself gevestig het groei dit ongekontroleerd wat drukking op nabygeleë organe kan uitoefen waardeur pyn veroorsaak kan word. Verdere drukking kan obstruksies, verlamming en selfs beenfrakture veroorsaak. Die kankerselle kom los van die gewas en beland in die limfvate wat na die limfkliere in die omgewing dreineer en veroorsaak daardeur limfklierverspreiding (limfkliermetastase). Die kankerselle beland ook in die bloedstroom en kan versprei na ander organe, weereens metastase. Die metastase kan weer in hierdie organe begin groei en lokale drukeffekte veroorsaak en so uiteindelik die dood van die pasiënt veroorsaak [1, pp. 4-5].

## **2.4 Kankerbehandeling deur radioterapie**

Deur die jare is verskeie behandelingsmetodes ontwikkel in die stryd teen kanker. Een van die belangrikste stappe vorentoe was egter die ontdekking van X-strale deur Roëntgen in 1895. X-strale is besonder penetrerend en kan baie energie afgee aan weefsel wanneer dit binnedring. Hierdie eienskap word gebruik om kankerselle te

dood. Radioterapie is dus die terapeutiese gebruik van X-strale om kankerselle te dood [1, p. 47].

## 2.5 Die biologiese basis van radioterapie

Wanneer X-strale weefsel penetreer vind ionisasie binne die weefsel plaas. Ionisasie veroorsaak fisiese en chemiese verandering binne die selle wat die funksie van die selle nadelig beïnvloed. Die effek op die selle kan soos volg verdeel word:

Direkte effekte.

- Sommige selle sterf terwyl bestraling toegedien word. Dit is gewoonlik van mindere belang en beïnvloed slegs vinnig groeiende selle.
- Sommige selle sterf wanneer hulle poog om te verdeel. Daar is geen onmiddellike sigbare effek op die selle tydens behandeling nie. Die skade word eers later duidelik wanneer die selle probeer verdeel en dan in die proses sterf. Die sel se groeitempo bepaal wanneer dit sal gebeur. Dit mag binne enkele ure plaasvind, of dit kan dae, weke of selfs jare neem. Hierdie is die belangrikste effek van ionisasie.
- Sommige selle wat bestraal is, word gesteriliseer deur premature veroudering. Sodoende probeer hulle nooit verdeel nie en word skadeloos gelaat.

## Indirekte effekte

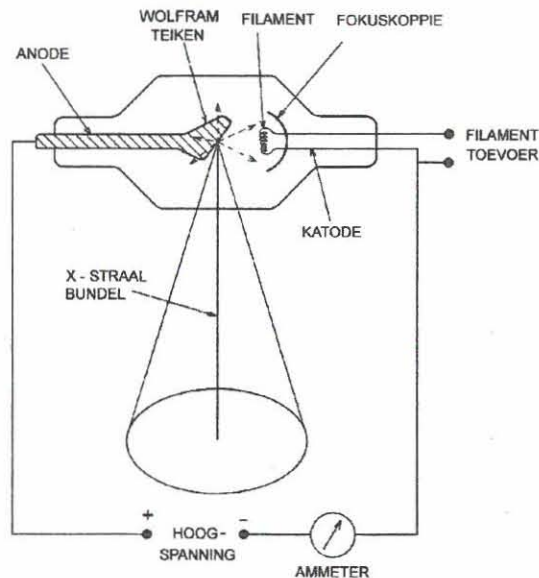
- Skade aan omliggende bloedtoevoer sny voeding aan die selle af en veroorsaak sodoende die dood van die betrokke selle.
- Beskadigde selle word verwyder deur die liggaam se immuunstelsel.

Na die kankerselle vernietig is genees die wond net soos enige ander tipe wond deur normale groei van die omliggende gesonde weefsel. Die bestralingsdosis wat aan 'n gewas toegedien word moenie toegelaat word om die toleransie van die omliggende gesonde weefsel te oorskry nie, anders sal herstel nie plaasvind nie, wat 'n permanente nekrose tot gevolg sal hê. Die doel van die radioterapeut is dus om die maksimum skade aan die kankerselle aan te rig sonder om die helende vermoë van die omliggende normale weefsel te vernietig [26, pp. 85-87].

## 2.6 Verskillende soorte X-strale en bestralingseenhede

X-straleenheide wat vir oppervlakkige behandeling gebruik word (kilovolteenhede), werk op ongeveer dieselfde basis as diagnostiese X-straalapparaat soos voorgestel in Figuur 2.1.





*Figuur 2.1 Uitleg van 'n X-straalbuis en stroombaan.*

Hoë stroom word deur 'n wolfram filament (katode) gestuur wat elektrone teen hoë temperatuur van die filament "afkook". 'n Hoë spanning oor die vakuumbuis versnel hierdie elektrone sodat hulle 'n wolfram teiken (anode) met so 'n kragtige impak tref dat straling geproduseer word van die versteurde atome, hoofsaaklik hitte, maar ook 'n gedeelte X-strale.

In kragtige X-straaleenhede soos lineêre elektronversnellers wat vir diepliggende behandeling gebruik word, word van meer gesofistikeerde metodes gebruik gemaak om die elektrone te versnel. Die basiese beginsel bly egter dieselfde<sup>1</sup>. Die penetrasievermoë van 'n X-straaleenheid hang af van die versnellingspanning in die masjien en word in Volt gemeet [26, pp. 57-58].

<sup>1</sup> kyk par. 2.7



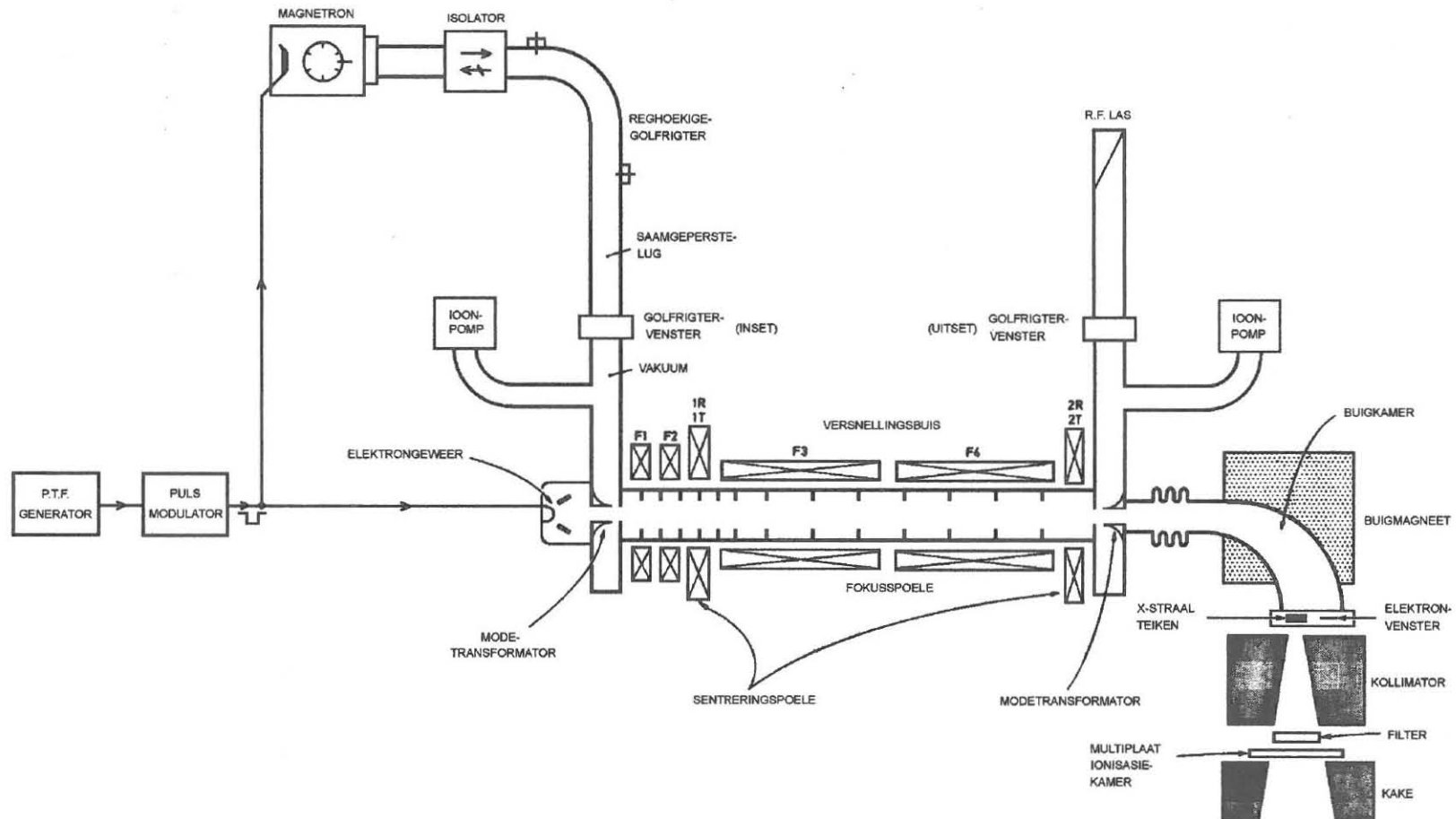
Tabel 2.1 'n Vergelyking tussen diagnosties-, kilovolt- en megavolteenhede.

Tipe eenheid	Toepassing	Spanning
Diagnosties	Diagnostiese X-strale	80 000 Volt (80 kV)
kilovolt	Oppervlakkige behandeling	140 000 Volt (140 kV)
Versneller + Kobalt (megavolt)	Diepliggende behandeling	1 000 000 Volt (1MV)

## 2.7 Elektronversneller werking

Die basiese werking van 'n lineêre elektronversneller (megavolteenheid) word in Figuur 2.2 voorgestel. Negatiewe polariteit-pulse word gelyktydig aan die katodes van die magnetron en elektrongeweer toegedien. Die magnetron genereer radiofrekwensie-golwe met 'n frekwensie van ongeveer 2998 MHz. Hierdie golwe word deur 'n reghoekige golfgeleier na die versneller gevoer, waar dit aan die versnellingsbuis deur 'n modetransformator oorgedra word.

Op dieselfde oomblik wanneer 'n golf oorgedra word, word 'n puls van elektrone vanaf die elektrongeweer in die versnellingsbuis teen ongeveer 0,4 maal die snelheid van lig geskiet. Die fase-snelheid van die radiofrekwensie-golf by die versnellingsbuis inset word verminder na hierdie elektron snelheid. Elektrone word in bondels naby die piek van elke golf vasgevang, om daardeur tot na aan die snelheid van lig versnel te word. Die versnellingsbuis bestaan uit 'n ronde buis



*Figuur 2.2 Uitleg van 'n lineêre elektronversneller.*

met gespasiëerde irisse langs die lengte daarvan, met 'n geleidelike vergroting in die afstand tussen die irisse van die inset tot die uitset van die versnellingsbuis. 'n Radiofrekwensie-golf wat deur die versnellingsbuis beweeg, sal in fasesnelheid toeneem as gevolg van die vergroting in die afstand tussen die irisse. Die elektrone wat deur elke golf vasgevang is, sal dus ook in snelheid toeneem en gevolglik energie. Om te voorkom dat die elektronbundel uit fokus raak tydens versnelling, word 'n statiese aksiale magnetiese veld op die bundel toegepas, deur 'n reeks fokus spoele gespasiëerd langs die lengte van die versnellingsbuis.

Enige afwyking van die elektronbundel word deur twee sentreringspoele naby elke ent van die versnellingsbuis hanteer. Die bewegende radiofrekwensie-golwe dra 'n gedeelte van die energie aan die elektrone oor, en 'n gedeelte aan die versnellingsbuis wandel. Surplus radiofrekwensie-energie by die versneller uitset word deur 'n radiofrekwensie-las opgeneem. Die versnelde elektrone by die uitset van die versnellingsbuis beweeg reguit aan tot in die buigkamer. Hier word die elektronbundel deur  $96^\circ$  gebuig deur 'n magneetveld om of 'n teiken te tref (X-straal mode), of deur 'n dun metaal venster te beweeg (elektron mode).

In die X-straal mode word die elektrone deur 'n hoë digtheid metaal teiken (bv. wolfram) gestop. Van die elektron energie word daardeur omgesit in X-strale (fotone). Die X-straalbundel word beperk deur verstelbare lood blokke in die versnellerkop (kollimator) om 'n goed gedefinieerde bestralingsveld te skep met minimale bestralingsverstrooiing buite die veld rante. In die elektron mode word die buigkamer verskuif sodat 'n dun metaal venster die teiken vervang. Elektrone

kan 'n paar sentimeter in weefsel indring en besit die voordeel dat dit dan skielik stop sonder om onderliggende weefsel te beskadig. Dit is dus ideaal vir oppervlakkige behandeling [23, pp. 4-6].

## **2.8 Fisika agtergrond**

Ten einde die doel van die projek beter te verstaan, is 'n basiese agtergrond van stralingsfisika noodsaaklik. Die onderwerp word slegs in die breë sin behandel met verwysing na algemene terme en definisies. Die geïnteresseerde leser word verwys na die publikasies wat as verwysing gegee word.

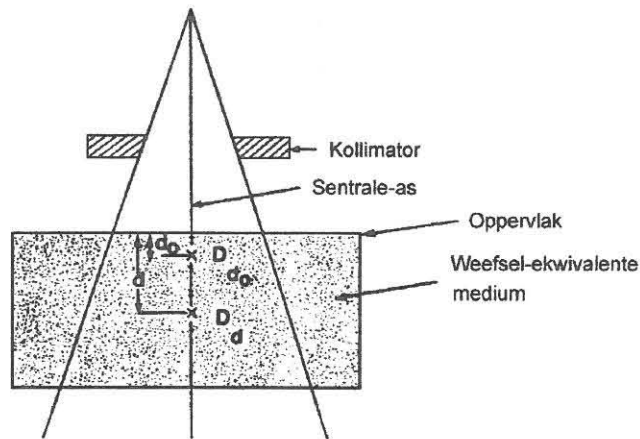
In radioterapie is die hoeveelheid en verspreiding van bestralingsdosis van uiterste belang aangesien die doel van die behandeling is om kankerselle te dood, sonder om onnodig gesonde weefsel te beskadig. Hierdie bestralingsmetings is 'n presiese wetenskap waarvoor stralingsfisici onmisbaar is vir enige radioterapie departement.

## **2.9 Stralingsbundeleienskappe**

### **2.9.1 Dieptedosis-krommes**

Wanneer 'n X-straalbundel 'n pasiënt penetreer, varieër die geabsorbeerde dosis met diepte. Met dosisberekening is dit belangrik om die wisseling in dieptedosis op die sentrale-as van die bundel te kan bepaal soos voorgestel word in Figuur 2.3.





*Figuur 2.3 Berekening van wisseling in persentasie dieptedosis.*

Die wisseling in dieptedosis kan bepaal word deur die geabsorbeerde dosis  $D_d$  by enige diepte  $d$  te vergelyk met die geabsorbeerde dosis  $D_{d0}$  by 'n vaste verwysingsdiepte  $d_0$ . Dit kan dan as 'n persentasie uitgedruk word; dit is die sg. persentasie dieptedosis. Persentasie dieptedosis  $P$  is dus:

$$P(d) = \frac{D_d}{D_{d0}} \times 100 \quad (2.1)$$

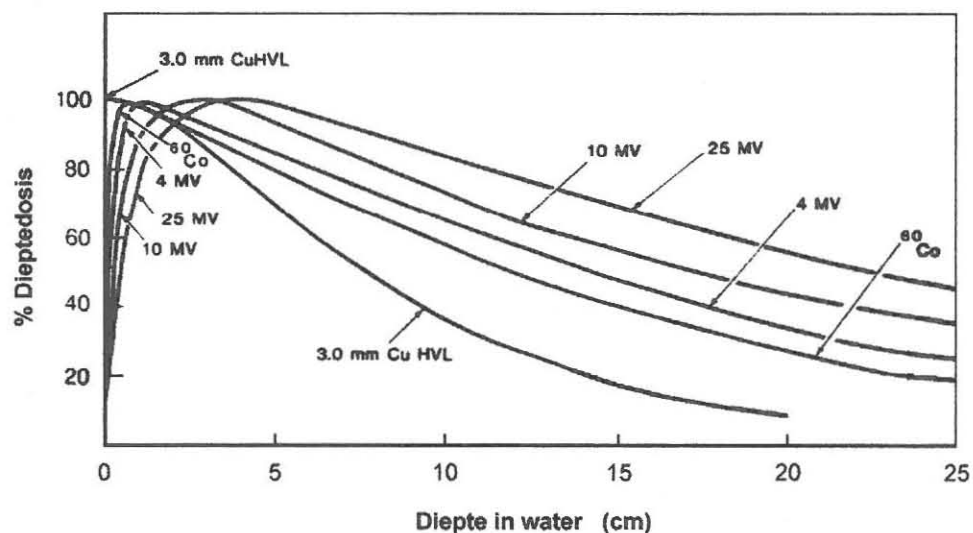
Vir ortospanning (ongeveer 400kV) en laer energie X-strale is die verwysingspunt gewoonlik op die oppervlak ( $d_0 = 0$ ), terwyl dit vir hoër energie X-strale op die punt van maksimum geabsorbeerde dosis ( $d_0 = d_m$ ) is.

Die maksimum geabsorbeerde dosis  $D_{maks}$  is dus:  $D_{maks} = \frac{D_d}{P(d) \times 100} \quad (2.2)$

Sentrale-as dieptedosis distribusie word bepaal deur bundelenergie, diepte, veldgrootte en afstand vanaf die bestralingsbron [15, pp. 159-161].

### 2.9.1.1 Bundelenergie

Die persentasie dieptedosis by 'n gegewe diepte (by dieptes groter as die maksimum dosis) verhoog met bundelenergie. Hoër energie bundels het 'n groter deurdringingsvermoë en lewer dus 'n hoër persentasie dieptedosis soos voorgestel in Figuur 2.4.



Figuur 2.4 Sentrale-as dieptedosis distribusies vir verskillende X-straalbundels.

Uit Figuur 2.4 kan gesien word dat die persentasie dieptedosis afneem met diepte na die punt van maksimum dosis bereik is. Daar is egter 'n aanvanklike opbou van dosis wat meer en meer prominent raak soos die energie toeneem. Vir ortospanning en lae energie X-strale bou die dosis op tot 'n maksimum op die vel oppervlak of net daar onder. Vir hoër energie X-strale lê die punt van maksimum



dosis egter dieper in die weefsel (of fantoom<sup>2</sup>). Die area tussen die oppervlak en die punt van maksimum dosis staan bekend as die dosis opbou area. Megavolteenhede lewer 'n duidelike voordeel bo lae energie X-straal eenhede aangesien 'n hoër dosis aan 'n diepliggende tumor gelewer kan word sonder om die toleransiedosis wat aan die vel toegedien kan word, te oorskry. Hierdie voordeel van megavolteenhede staan bekend as die velsparingseffek [15, pp. 161-162].

### 2.9.1.2 Veldgrootte

Veldgrootte kan geometries of dosimetries gedefinieer word. Die geometriese veldgrootte word gedefinieer as die projeksie van die onderkant van die kollimator, soos gesien vanaf die senter van die bron, op 'n vlak loodreg tot die bundel-as. Die dosimetriese veldgrootte is die afstand tussen twee punte, waar 'n gegewe isodosiskromme (gewoonlik 50% isodosis) 'n vlak loodreg tot die sentrale-bundel kruis op 'n gegewe afstand vanaf die bron. Daar word in die algemeen na geometriese veldgrootte verwys. Verder word die veldgrootte gedefinieer op 'n bepaalde afstand soos die FVA (fokus-vel-afstand) of die FIA (fokus-isosenter-afstand). Die tweede term is die afstand vanaf die fokuspunt tot die rotasie-as van die versneller-drom bekend as die isosenter. Vir 'n baie klein veld is die dosis by 'n punt op die sentrale-as hoofsaaklik van primêre straling afkomstig. Die bydrae van verstrooide strale is weglaatbaar klein. Soos die veld groter word, vermeerder die bydrae van verstrooide strale tot die geabsorbeerde dosis. Met die verstrooide

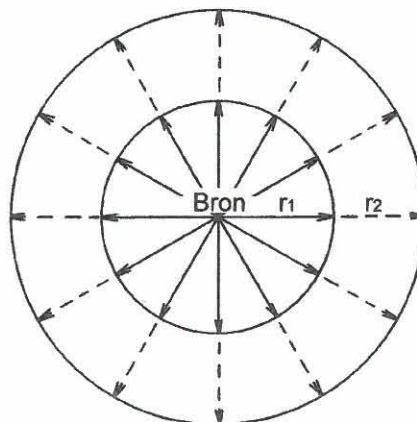
---

<sup>2</sup> Dit is 'n medium met dieselfde digtheid as menslike weefsel soos bv. water of Perspex.<sup>TM</sup>

dosis, wat hoër is by punte dieper as dmaks, sal die persentasie dieptedosis ook verhoog wanneer die veldgrootte groter word [15, p. 164]. Die verhoging van persentasie dieptedosis as gevolg van groter veldgrootte is afhanklik van die bundelkwaliteit. By hoër energie bundels, waar verstrooiing meer in die voorwaartse rigting is, is die invloed van veldgrootte op persentasie dieptedosis minder as by laer energie bundels [15, pp. 163-164].

### 2.9.1.3 Fokus-vel-afstand (FVA)

Die dosistempo (in 'n vry ruimte) van 'n bestralingsbron neem af teen die omgekeerde van die kwadraat van die afstand vanaf die bron. Hierdie stelling word gemotiveer met verwysing na Figuur 2.5.



*Figuur 2.5 Uitstraling om 'n radioaktiewe puntbron.*

Ter verduideliking word 'n paar aannames gemaak:

- Aanvaar dat die straling vanaf 'n puntbron ontstaan.

- Aanvaar dat die straling isotropies is, daar is dus presies ewe veel straling in alle rigtings vanaf die bron. Die hoeveelheid straling wat deur die oppervlak van 'n denkbeeldige sfeer om die bron dring sal dus dieselfde wees, onafhanklik van die straal van die sfeer, gemeet in 'n vakuum waar daar geen attenuasie is nie.
- Aanvaar dat die totale energie wat die bron per sekonde uitstraal (W) konstant bly.

Stralingsintensiteit word gedefinieer as die energie wat per eenheid tyd deur 'n eenheid oppervlak beweeg. Hieruit volg:

$$\text{Stralingsintensiteit op afstand } r_1: \quad I_1 = \frac{W}{4\pi r_1^2} \quad (2.3)$$

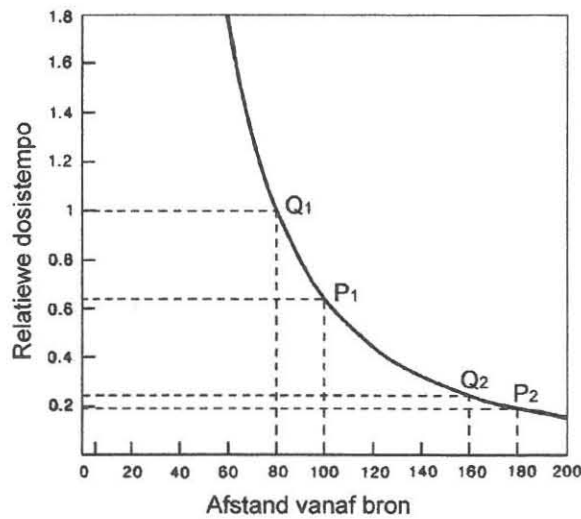
$$\text{Stralingsintensiteit op afstand } r_2: \quad I_2 = \frac{W}{4\pi r_2^2} \quad (2.4)$$

$$\text{Verg. (2.4) / verg. (2.3):} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad (2.5)$$

$$\text{Stel } r_1 = 1 \text{ in verg. (2.5):} \quad I_2 = I_1 \times \frac{1}{r_2^2} \quad (2.6)$$

Persentasie dieptedosis verhoog met fokus-vel-afstand (FVA) as gevolg van die effek van die omgekeerde kwadraatwet. Ondanks die feit dat die aanvanklike dosistempo by 'n punt verlaag wanneer die afstand vergroot word, verhoog die

persentasie dieptedosis met vergroting in FVA. Dit word geïllustreer met verwysing na Figuur 2.6.



*Figuur 2.6 Relatiewe dosistempo teenoor afstand van 'n bestralingsbron.*

In die grafiek word relatiewe dosistempo van 'n bestralingspuntbron aangedui as 'n funksie van afstand vanaf die bron volgens die omgekeerde kwadraat wet. Die kromme toon dat die verhouding van die dosistempo tussen twee punte op 'n gegewe afstand uitmekaar naby die bron baie kleiner is as tussen dieselfde twee punte verder weg van die bron. Dit beteken dat persentasie dieptedosis, wat 'n relatiewe dieptedosis is met verwysing na 'n verwysingspunt, vinniger verminder naby die bron as verder weg daarvan.

Uit Figuur 2.6 volg dat:

$$\frac{P_2}{Q_2} > \frac{P_1}{Q_1} \quad (2.7)$$

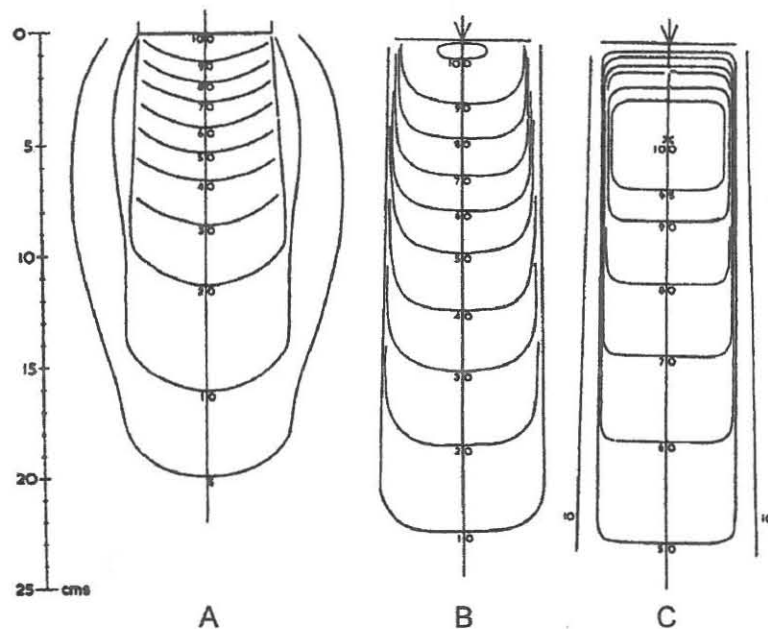
In kliniese radioterapie is FVA 'n belangrikke parameter. Aangesien persentasie dieptedosis bepaal hoeveel dosis toegedien kan word by 'n sekere diepte relatief



tot die oppervlak dosis of  $d_{\text{maks}}$  moet die FVA so groot as moontlik wees. Die dosistempo neem egter af met afstand, en daarom moet die FVA in die praktyk op so 'n afstand wees dat daar 'n kompromie is tussen dosistempo en persentasie dieptedosis [15, pp. 166-167].

## 2.9.2 Isodosisverspreiding

Die sentrale-as dieptedosisverspreiding op sigself is nie voldoende om 'n stralingsbundel te karakteriseer nie, aangesien die bundel 'n driedimensionele volume van dosisverspreiding veroorsaak. So 'n volume kan weergegee word met behulp van isodosiskrommes. Figuur 2.7 gee 'n vergelyking tussen die isodosiskrommes van X-strale van verskillende energieë.



*Figuur 2.7 Isodosiskrommes van (A) 200 kV, (B) 2 MV en (C) 20 MV.*

‘n Isodosiskromme is ‘n lyn wat punte met dieselfde dosis verbind. Hierdie krommes word gewoonlik by gereelde intervale van geabsorbeerde dosis getrek en as ‘n persentasie van die dosis by ‘n verwysingspunt uitgedruk. Standaard isodosiskrommes word opgestel vir elke veldgrootte en energie. Dit is dan vinnig en maklik vir die radioterapie personeel om ‘n pasiënt se behandeling daaruit te beplan. Van die parameters wat ‘n effek het op ‘n enkel bundel isodosisverspreiding is bundelkwaliteit, fokusgrootte, fokus-vel-afstand, fokus-diafragma-afstand, kollimasie en veldgrootte [15, p. 205].

### **2.9.2.1 Bundelkwaliteit**

Die sentrale-as dieptedosisverspreiding is afhanklik van die bundelenergie soos beskryf in afdeling 2.9.1.1. Hoër energiebundels wat ‘n beter deurdringingsvermoë het, lewer dus ‘n hoër persentasie dieptedosis by ‘n gegewe diepte. Bundelenergie beïnvloed ook die isodosiskrommes se vorm naby die veldrante. Meer laterale verstrooiing word geassosieer met laer energiebundels wat isodosiskrommes buite die veld laat uitbult; met ander woorde die geabsorbeerde dosis in die medium aan die buitekant van die primêre bundel is hoër vir laer energiebundels as vir hoër energieë. Die fisiese penumbra<sup>3</sup> is ook afhanklik van die bundelkwaliteit soos voorgestel in Figuur 2.7. Die isodosiskrommes buite die primêre bundel (bv. 10% en 5%) spreid verder uit in die geval van ortospanningsbestraling. ‘n Nadeel van ortospanning-bundels is die verhoging in verstrooide straling aan die weefsel buite

---

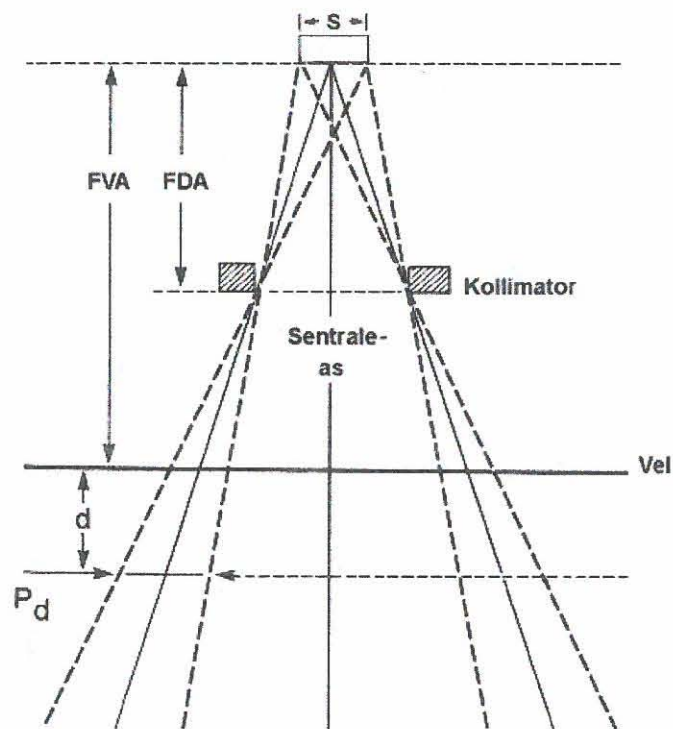
<sup>3</sup> Die penumbra is die gebied by die rand van ‘n stralingsbundel waar die dosis vinnig verander met afstand vanaf die bundel-as.



die behandelingsarea. Vir megavolt bundels is die verstrooiing buite die veld minimaal as gevolg van die voorwaartse verstrooiing [15, p. 210].

### 2.9.2.2 Fokusgrootte, fokus-vel-afstand en fokus-diafragma-afstand

Hierdie drie parameters beïnvloed die vorm van die isodosiskrommes, wat deur die geometriese penumbra bepaal word. Verder beïnvloed die FVA die persentasie dieptedosis en gevolglik ook die diepte van die isodosiskrommes. Dit is moontlik om tussen fisiese en geometriese penumbra te onderskei. Die geometriese penumbra ( $P_d$ ) kan gedefinieer word aan die hand van Figuur 2.8.



Figuur 2.8 Berekening van geometriese penumbra.

$$Pd = \frac{s(FVA + d - FDA)}{FDA} \quad (2.8)$$

Waar  $s$  = brongrootte

$d$  = sekere diepte

FVA = fokus-vel-afstand

FDA = fokus-diafragma-afstand

Die fisiese penumbra word gedefinieer as die laterale afstand tussen die 20% en 80% isodosiskrommes by 'n spesifieke diepte. Die geometriese penumbrawydte vergroot wanneer die brongrootte en FVA vergroot. Dit verminder egter met toename in FDA. Die dosisvariasie oor die veldgrens is te wyte aan die geometriese penumbra, laterale verstrooiing en kollimasie – daarom is die veldskerpheid by 'n diepte nie net van die bron- of fokuspuntgrootte afhanklik nie. Met die gebruik van “penumbratrimmers” of sekondêre kollimasie kan die isodosis skerpheid by 'n gegewe diepte vir kobalt-bundels met 'n brongrootte van kleiner as 2 cm vergelykbaar gemaak word met dié van hoë energie versnellerbundels waar die fokuspuntgrootte gewoonlik in die orde van 2mm is [15, p. 210].

### 2.9.2.3 Kollimasie

Die term kollimasie verwys nie net na kollimatorblokke wat vorm en grootte aan die bundel gee nie, maar ook na afplattingsfilters en ander absorbeërs en verstrooiers in die bundel tussen die bron en die pasiënt. Die afplattingsfilters wat by megavolt X-straalbundels gebruik word, het die grootste invloed op die vorm

van die isodosiskrommes. Sonder die filters het die isodosiskrommes 'n kegel vorm met 'n verhoogde X-straalintensiteit langs die sentrale-as en 'n skerp vermindering na die kante. Die funksie van die afplattingsfilter is dus om die bundelintensiteitverspreiding relatief uniform deur die veld te maak. Die filter is die dikste in die middel en word dunner na die kante toe [15, p. 211].

#### **2.9.2.4 Veldgrootte**

Veldgrootte is een van die belangrikste parameters in behandelingsbeplanning. Voldoende dosimetriese dekking van die tumor vereis die bepaling van 'n geskikte veldgrootte. Dit moet eerder dosimetries wees sodat 'n sekere isodosiskromme (bv. 90%) die hele behandelingsvolume dek.

Wanneer veldgroottes kleiner as 6cm in deursnit gebruik word, moet in ag geneem word dat 'n groot gedeelte van die veld in die penumbragebied val. Afhangend van die brongrootte, kollimasie en ontwerp van die afplattingsfilters is isodosiskrommes vir klein veldgroottes geneig om klokvormig te wees. Behandelingsbeplanning met isodosiskrommes behoort dus verpligtend te wees vir klein velde [15, p. 212].

## **HOOFSTUK 3**

### **ONEGALIGE BEHANDELINGSAREAS: KONTOERBEPALING & KOMPENSATOR VERVAARDIGINGSTEGNIEKE**

#### **3.1 Inleiding**

Basiese dieptedosis data en isodosiskrommes word bepaal deur metings in 'n waterfantoom. Hierdie tipe fantoom-bestraling word onder standaard omstandighede gedoen, m.a.w. loodregte bundelpenetrasie op 'n plat vlak in 'n medium met 'n homogene digtheid. 'n Pasiënt se liggaam is egter nie homogeen in digtheid nie. Die bestralingsbundel penetrasie is ook nie altyd loodreg tot die liggaam nie. Verder is daar gewoonlik 'n kurwe of ongelykheid in die bestralingsoppervlak. Onder sulke omstandighede kan die standaard dosisdistribusies nie toegepas word sonder die nodige modifikasies of korreksies nie [15, p. 239].

#### **3.2 Korreksie vir ongelyke liggaamsprofile**

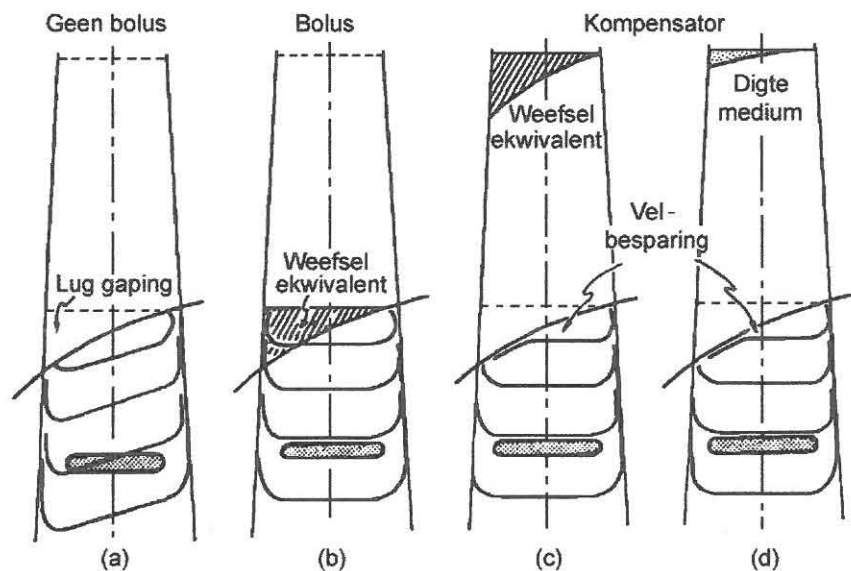
Verskeie tegnieke is ontwikkel om hierdie probleem te oorkom soos bv. die gebruik van metaal wie. 'n Wig word in die bestralingsbundel gemonteer teen die teenoorgestelde hoek as die skuins liggaamsprofiel. Dit is egter van beperkte hulp aangesien dit die kurwe van die liggaam slegs naastenby kan navolg, veral as dit 'n komplekse kurwe is wat in meer as een rigting skuins is. Veelvuldige velde kan



teen verskillende hoeke toegedien word sodat die bundels in die teiken volume kruis. Dit lei egter tot komplekse beplanning en pasiënt opstelling. Areas met minder weefsel bo die teiken volume kan ook uitgeblok word vir die laaste paar behandelings om die dosis in daardie area te verminder. Verder kan daar van bolusmateriaal of 'n kompenseringsfilter gebruik gemaak word om die behandelingsvlak gelyk te maak [15, p. 261].

### 3.3 Bolus en kompenseringsfilters

Bolus is 'n weefsel-ekwivalente materiaal wat direk op die pasiënt se vel geplaas word, om die ongelyke liggaamsprofiel gelyk te maak. 'n Plat vlak loodreg tot die bestralingsbundel word dus geskep sodat standaard isodosiskrommes gebruik kan word soos voorgestel in Figuur 3.1b.



*Figuur 3.1 Isodosiskrommes om die gebruik van bolus en kompenseringsfilters te illustreer.*

Bolus wat op die vel geplaas word is geskik vir ortospanning (150-500kV). Met hoër energie bundels gaan die velsparingsvoordeel egter verlore aangesien die bolus as opbou op die vel dien, met die gevolg dat die maksimum dosis op die vel oorgedra word. Ten einde hierdie probleem te oorkom, is kompensators ontwikkel [15, p. 261].

‘n Kompensator vervul dieselfde rol as bolusmateriaal op die vel, behalwe dat dit weg van die pasiënt geskuif word, nader aan die bron van die megavolteenheid soos voorgestel in Figuur 3.1c. Die velsparingseffek word dus behou. Standaard isodosiskrommes kan met kompensators gebruik word. Die kompensators moet verklein word in die horisontale rigting om voorsiening vir die divergerende bestraling te maak. Dit is ook moontlik om die kompensator in die vertikale rigting dunner te maak indien ‘n digter materiaal (bv. aluminium of lood) as menslike weefsel gebruik sou word, soos voorgestel in Figuur 3.1d. Behandeling sonder ‘n kompensator sal lei tot ‘n dosisverskil van 10 tot 30 persent van standaard isodosiskrommes soos gemeet in ‘n waterbad [11, p. 421].

### **3.4 Faktore wat kompensering beïnvloed**

In teorie behoort ‘n kompensator met dieselfde digtheid as weefsel en met dieselfde dikte as wat bolusmateriaal op die vel sou wees presies te kan kompenseer vir die ongelyke behandelingsarea op die pasiënt. Fisiese metings toon egter dat dit nie die geval is nie. So ‘n tipe kompensator kompenseer slegs vir die ongelyke behandelingsarea, terwyl bestralingsverstrooiing wat plaasvind binne

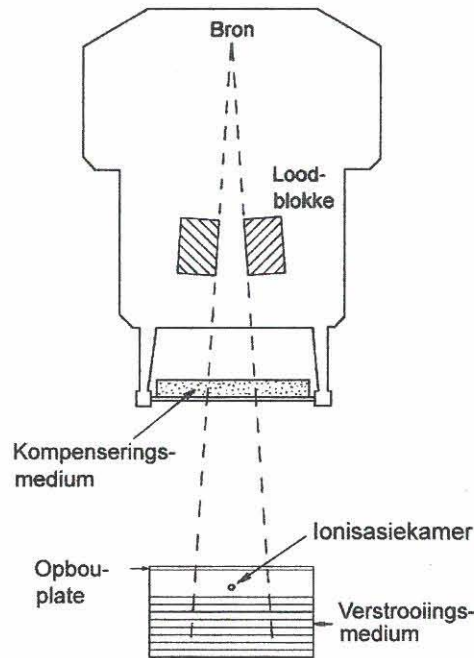


die kompenseringsmedium wanneer die fotone deur die kompensator beweeg buite rekening gelaat word. Die gevolg sal dus wees dat 'n mate van oorkompensering plaasvind. Om hiervoor voorsiening te maak moet die kompensator ooreenkomstig dunner gemaak word.

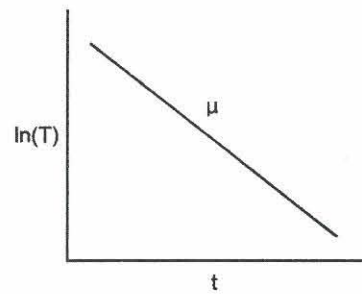
Verdere faktore wat tydens kompensering in berekening gebring moet word, is die diepte binne die weefsel waarvoor gekompenseer wil word, asook die behandelingsveldgrootte. Variasies in die bron tot vel afstand, as gevolg van die ongelyke kontoervorm van die behandelingsarea, het ook 'n minder belangrike uitwerking. Ware kompensering (ooreenkomstig standaard isodosiskrommes) kan dus net met 'n bepaalde veldgrootte op een vlak binne die pasiënt plaasvind. Na hierdie vlak word algemeen as die kompenseringsvlak verwys. Enige afwyking van die bepaalde vlak sal tot 'n meegaande fout in kompensering lei [28, p. 452].

### **3.5 Bepaling van lineêre attenuasiekoëffisiënt en dikte van 'n kompenseringsmedium**

Met die belangrikste faktore van verstrooiing deur die kompenseringsmedium, behandelingsdiepte en veldgrootte kan die lineêre attenuasiekoëffisiënt en die dikte van 'n kompenseringsmedium bepaal word met verwysing na Figuur 3.2.



Figuur 3.2



Figuur 3.3

*Figuur 3.2 Versneller opstelling om kompensatordikte te bepaal. Figuur 3.3 Bepaling van lineêre attenuasiekoëffisiënt.*

‘n Ionisasiekamer<sup>1</sup> word op ‘n bepaalde fokus-vel-afstand (gewoonlik op isosenterhoogte) onder die kop van die versneller opgestel. Dosis a.g.v. terugverstrooiing word verkry deur ‘n verstrooiingsmedium (Perspex™ plate) onder die ionisasiekamer te plaas. Die versneller word op ‘n bepaalde veldgrootte (gewoonlik 10 x 10 cm) gestel. ‘n Meting word met die ionisasiekamer geneem terwyl ‘n bestralingsdosis van ‘n bepaalde X-straal energie toegedien word met geen obstruksie in die bestralingsveld ( $I_0$ ). Die regte dikte Perspex™ plaat vir die betrokke X-straalenergie is bo die ionisasiekamer geplaas om as opbou te dien

<sup>1</sup> Dit is ‘n apparaat wat gebruik word om bestralingsdosis mee te meet.

sodat maksimum dosis aan die kamer oorgedra word tydens bestraling soos in afdeling 2.9.1.1 bespreek. 'n Bekende dikte plaat van die kompenseringsmedium (t) wat getoets word, word op die skadurak van die versneller geplaas en 'n volgende stralingsmeting word geneem (I). Die metings word herhaal vir opeenvolgende plate van dieselfde dikte.

### 3.5.1 Bepaling van lineêre attenuasiekoëffisiënt

Transmissie (T) word gedefinieer as die intensiteit van die uitkomende bundel (I) gedeel deur die intensiteit van die inkomende bundel ( $I_0$ ).

$$\text{Dus} \quad T = \frac{I}{I_0} \quad (3.1)$$

$$\text{Verder} \quad I = I_0 \cdot e^{-\mu t} \quad (3.2)$$

Waar  $\mu$  : lineêre attenuasiekoëffisiënt van kompenseringsmedium  
en  $t$  : dikte van kompenseringsmedium is.

Uit vgl. (3.1) en (3.2) volg dus:

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu t} \quad (3.3)$$

$$\text{Dus} \quad T = e^{-\mu t} \quad (3.4)$$

$$\ln(T) = -\mu t \quad (3.5)$$

Vergelyking (3.5) kan op 'n grafiek voorgestel word van  $\ln(T)$  teen  $t$  wat 'n reguit lyn lewer met  $\mu$  die helling van die grafiek soos voorgestel in Figuur 3.3.

### 3.5.2 Bepaling van kompenseringsmedium-dikte

Die hoeveelheid weefsel wat deur 'n spesifieke dikte kompenseringsmedium verteenwoordig word, kan bepaal word deur die transmissie van die betrokke medium gelyk te stel aan dié van 'n weefselekwivalente-medium soos bv. byewas.

Uit vgl. (3.4) volg dat  $T = e^{-\mu t}$

$$e^{-\mu t} \text{ (kompenseringsmedium)} = e^{-\mu t} \text{ (weefselekwivalente-medium)} \quad (3.6)$$

Die attenuasiekoëffisiënte van beide die kompenserings- en weefselekwivalente-medium kan bepaal word soos beskryf is in afdeling 3.5.1. Die dikte weefselekwivalente-medium kan dus bereken word vir 'n spesifieke dikte kompenseringsmedium.

LW Attenuasiekoëffisiënt en kompensatordikte is afhanklik van die X-straalenergie wat toegepas is tydens die transmissie metings. Vir enige ander X-straal energie moet die metings herhaal word.

### 3.6 Liggaamskontoerbepaling

Ten einde kompenseringsfilters te kan vervaardig is dit eerstens nodig om die pasiënt se liggaamskontoere akkuraat te kan bepaal. Verskeie tegnieke is vir die doel ontwikkel.

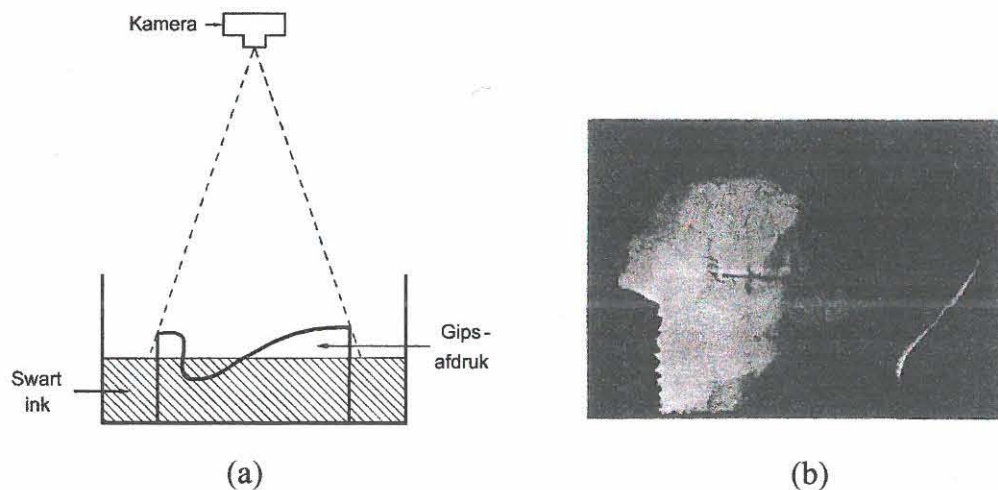


### 3.6.1 Fisiese metings

Die eenvoudigste kontoerbepalingstegniek, is om 'n gipsafdruk van die ongelyke behandelingsarea op die pasiënt te neem, en dan fisiese metings direk van die afdruk te neem. Een so 'n tegniek word beskryf deur Ellis<sup>2</sup> [11, p. 421]. Van de Geijn [24, p. 865] beskryf 'n pantograaf tipe apparaat om die kontoere van die afdruk op papier oor te dra.

### 3.6.2 Fotografiese tegniek

Vir die tegniek is dit eerstens nodig om 'n gipsafdruk van die voorgenome bestralingsarea in die behandelingsposisie te neem. Die afdruk word vervolgens, ooreenkomstig met die behandelingsposisie, in 'n leë waterbad opgestel soos voorgestel in Figuur 3.4a.



*Figuur 3.4a Opstelling vir 'n inkbad kontoerbepalingstegniek en 'n kontoerfoto geneem met die tegniek, Figuur 3.4b.*

<sup>2</sup> kyk par 3.7.1



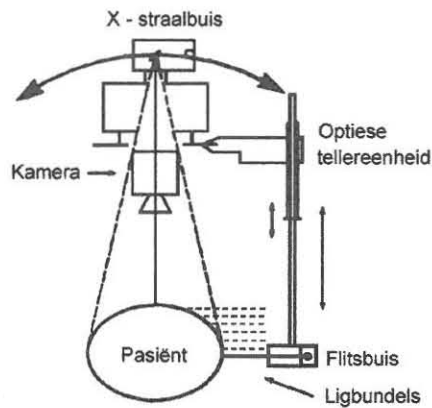
‘n Kamera is op dieselfde fokus-vel-afstand as wat die bestralingseenheid se bron bo die pasiënt sal wees, gemonteer. ‘n Mengsel van water en swart ink word dan in lae in die bad getap. Die diepte van elke laag word bepaal deur die dikte van die loodplaat wat vir kompensering gebruik gaan word. In dié geval is die dikte van die plate bekend. Die diepte van die lae vloeistof kan dus bereken word met die kompensatordikte vergelyking uit afdeling 3.5.2. Vir elke laag vloeistof wat bygevoeg word, word ‘n foto van die afdruk geneem, wat die afdruk effektief in kontoere opdeel soos voorgestel in Figuur 3.4b. Die foto’s word na die grootte wat die kompensator op die skadu-rak van die behandelingseenheid sal wees vergroot. Elke foto se kontoer word op ‘n loodplaat gekonstrueer, uitgeknip en opmekaar geplak om ‘n kompensator op te maak [17, p. 322].

### **3.6.3 Horisontale-flitsbuis tegniek**

‘n Flitsbuis (strobe light) en kamera is gemonteer aan die kop van ‘n simulatoreenheid<sup>3</sup> soos voorgestel in Figuur 3.5. ‘n Horisontale lyn word op die pasiënt, wat op die simulatorblad lê, deur ‘n flits van die flitsbuis geprojekteer. Terselfdertyd word ‘n foto van die pasiënt geneem met ‘n lang-beligtingstyd-film. Dit is noodsaaklik om die simulatorkamer te verdonker ten einde ‘n duidelike beeld op die film te kan vaslê.

---

<sup>3</sup> Dit is ‘n diagnostiese tipe X-straleenheid met dieselfde dimensies as ‘n behandelingseenheid en word gebruik om die voorgenome behandeling te simuleer.

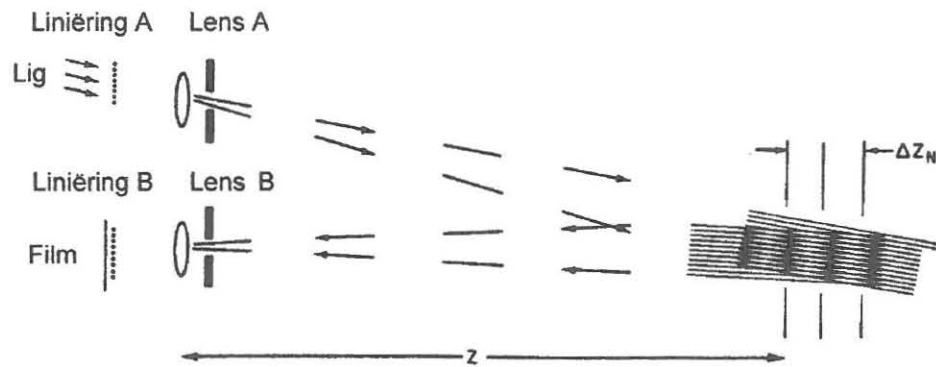


*Figuur 3.5 Opstelling vir 'n horisontale-flitsbuis kontourbepalingstechniek.*

Die flitsbuis word met die hand opgeskuif terwyl opeenvolgende flitse outomaties gegee word totdat die hele een kant van die behandelingsarea gedek is. Die flitsbuis word omgeswaai na die anderkant van die behandelingsarea en die hele prosedure word herhaal. Al die geprojekteerde lyne aan weerskante van die liggaam word dus vasgevang op een enkele fotografiese film. Die spasiëring tussen opeenvolgende geprojekteerde lyne is vooraf bepaal volgens die dikte van die loodplaat wat vir kompensering gebruik gaan word. Die foto word vergroot en word as verwysing vir die kompensator kontoure gebruik [18, pp. 741-743].

### 3.6.4 Moiré topografiese tegniek

Boyer en Goiten [9, pp. 19-25] beskryf 'n fotografiese kontourbepalingstechniek met verwysing na Figuur 3.6.

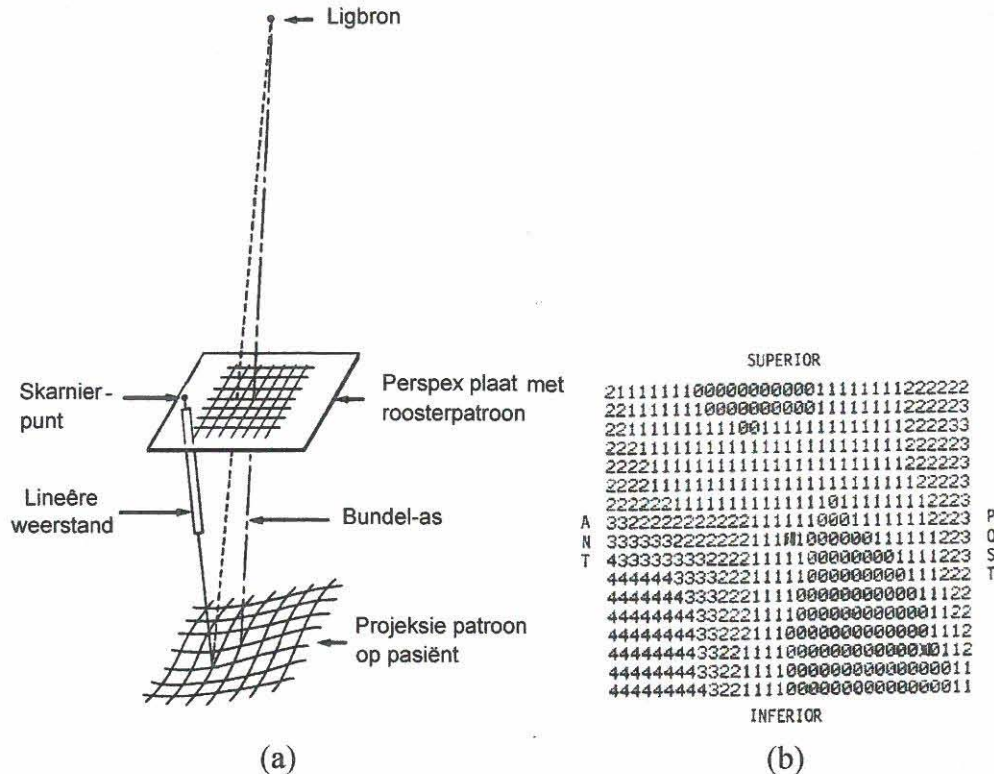


*Figuur 3.6 Opstelling vir 'n Moiré topografiese-kontoerbepalingstegniek.*

Lig van 'n ligbron word deur 'n gelinieëerde filter (filter A) op 'n pasiënt geprojekteer. Die filter veroorsaak 'n aantal dun lig strepies op die pasiënt. 'n Kamera neem 'n foto van die geprojekteerde beeld deur 'n soortgelyke filter (filter B). Die liniëring op die filters veroorsaak 'n Moiré-patroon op die foto wat duidelik as ligte en donker kontoere op die pasiënt onderskei kan word. Die spasiëring tussen die kontoere is verteenwoordigend van 'n spesifieke dikte kompensermidde (soos bv. loodplaat). Om dié afstand tussen opeenvolgende kontoerlyne te verander kan die afstand tussen lense A en B of die spasiëring tussen die lyne op die gelinieëerde filters verander word. Die fotografiese beeld word vergroot en word as verwysing gebruik om 'n kompensator mee te maak.

### 3.6.5 Rekenaargesteunde kontoerbepaling

'n Eenvoudige rekenaargesteunde tegniek word deur Andrew en Aldrich [3, p. 279] beskryf met verwysing na Figuur 3.7a.



*Figuur 3.7a Opstelling vir 'n rekenaargesteunde kontoerbepalingstegniek en 'n kompensator uitleg bepaal met die tegniek, Figuur 3.7b.*

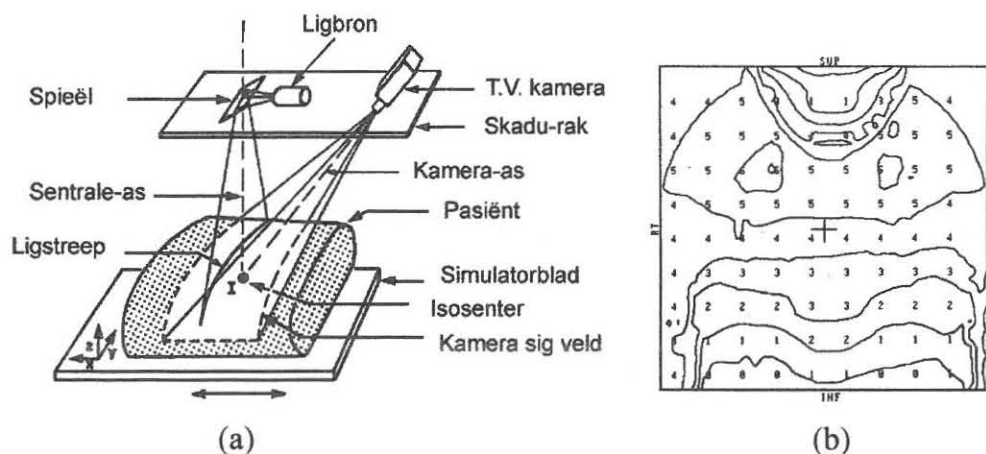
'n Pasiënt word opgestel in die behandelingsposisie op 'n simulatorblad. 'n Perspex™ plaat waarop 'n roosterpatroon uitgemerk is, word in die skadu-rak van die simulator gestoot. Die roosterpatroon word deur die simulator se optiese stelsel op die pasiënt geprojekteer. 'n Aanwyser met 'n lineêrebeweging verstelbare weerstand is aan 'n skarnierpunt aan een kant van die Perspex™ plaat geheg. Die senterstaaf van die aanwyser word in die operateur se hand gehou en word verleng om die kruispunte van die geprojekteerde rooster op die pasiënt aan te raak. 'n 1.5 Volt verwysingspanning word oor die verstelbare weerstand gehandhaaf. Enige verlenging van die senterstaaf word bepaal deur die



verhouding van die spanning oor die verstelbare weerstand tot die totale toegepaste spanning. Hierdie spannings word deur 'n 10 greep analoog na digitaal omsetter as data vir 'n rekenaar gevoer, om die koördinate van die pasiënt se vel oppervlak te bepaal. Wanneer die kontoere ingevoer word is dit belangrik om die roosterpunte in 'n vooraf bepaalde volgorde in te voer. Die aantal lae van die kompenseringsmedium wat gebruik gaan word, word dan deur die rekenaar vir elke roosterpunt bepaal. 'n Templaat word deur die rekenaar uitgedruk, met die nodige kontoervorms en kompensatordikte soos voorgestel in Figuur 3.7b.

### 3.6.6 Video-gebaseerde kontoerbepaling

'n Tweede kontoerbepalingstegniek word deur Andrew en Aldrich [4, pp. 425-428] beskryf met verwysing na Figuur 3.8a.



*Figuur 3.8a Opstelling vir 'n video-gebaseerde kontoerbepalingstegniek en kompensator uitleg bepaal met die tegniek, Figuur 3.8b.*



'n Ligbron en 'n TV kamera is op 'n plaat gemonteer wat in die skadu-rak van 'n simulatoreenheid pas. Die ligbron projekteer 'n smal ligstreep loodreg tot die simulatorblad in ooreenstemming met die simulatoreenheid se X-straalbundel. Die TV kamera is 'n monokroom stelsel met 'n 754 horisontaal by 488 vertikaal, lading gekoppelde opspoorstel. Raampies van die kamera word digitaal omgeskakel deur 'n 512 x 512 fotoraam redigeerder en word vervolgens geprosesseer deur 'n rekenaar. Die kamera is teen so 'n hoek geplaas, dat wanneer die geprojekteerde streep op 'n plat vlak sou skyn op die hoogte van die isosenter, sal die lyn ooreenstem met lyn 256 van die 512 x 512 TV raam vir vertikaal sowel as horisontaal.

Die pasiënt word op die simulatorblad geplaas, die kamer word verdonker en die behandelingsarea word op die pasiënt geskandeer. Horisontale beweging word deur die gemotoriseerde simulator tafel bewerkstellig. Tydens die horisontale beweging neem die kamera beeldingsraampies met 1 cm intervalle. Die rekenaar prosesseer elke raampie soos dit geneem word en stoor die posisie en intensiteit van die helderste "*pixel*" in elke vertikale "*pixel*" kolom in die digitale beeld. In die meeste gevalle is een skandering nie voldoende om die kontoere van die hele behandelingsarea soos bv. die sykant van die liggaam te dek nie. Indien hierdie areas binne die behandelingsveld val word die simulatordrom gedraai om 'n beter beeld van die areas te verkry en addisionele skanderings word gedoen.

Wanneer al die skanderings klaar gedoen is, word die Y-Z koördinate vir elke "*pixel*" op die video beeld van die geprojekteerde streep met driehoeksmeting deur

die rekenaar bepaal. Data vir dieselfde kontoer, geneem teen ander hoeke word dan saamgevoeg met die bestaande data om volledige kontoere te kan skep. Die rekenaar bepaal dan die hoeveelheid kompenseringsmedium nodig vir elke kontoer en gee 'n uitdruk daarvan op die skadu-rak hoogte soos voorgestel in Figuur 3.8b.

### 3.6.7 Rekenaartomografie

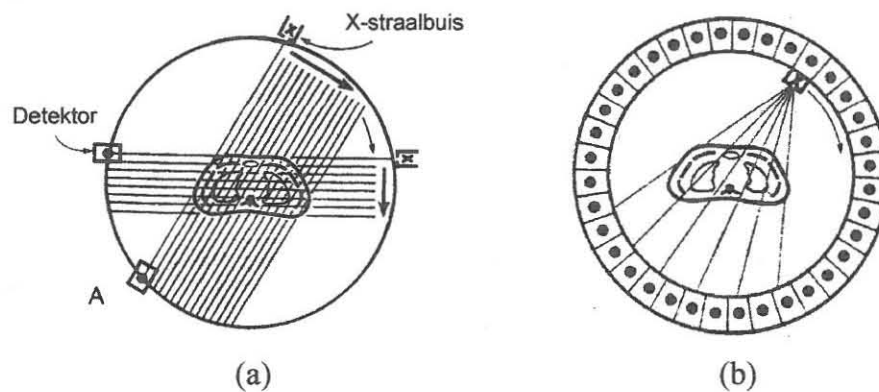
Die grootste tekortkoming van die voorafgaande kontoerbepalingstegnieke lê daarin dat dit slegs moontlik is om vir die buite kontoere van die liggaam voorsiening te maak. Vir die doel van kompensator-vervaardiging is dit egter noodsaaklik om die variasies in digtheid van die verskillende organe, bene ens. binne die liggaam akkuraat te kan bepaal. Hiervoor is rekenaartomografie ideaal.

Basies kan die werking van 'n rekenaartomograaf soos volg omskryf word:

- 1) 'n Dun X-straalbundel skandeer oor 'n pasiënt terwyl 'n bestralingsdetektor aan die teenoorgestelde kant van die pasiënt die hoeveelheid straling meet soos voorgestel word in Figuur 3.9a.
- 2) Indien 'n voldoende hoeveelheid transmissie metings geneem word teen verskillende oriëntasies van die X-straalbron en detektor, kan die distribusie van attenuasiekoëffisiënte binne die betrokke snit bepaal word.

- 3) Deur verskillende vlakke aan die verskillende attenuasiekoëffisiënte toe te wys kan 'n beeld geherkonstrueer word van strukture binne die liggaam met verskillende attenuasiekoëffisiënte.
- 4) So 'n voorstelling van attenuasiekoëffisiënte vorm 'n rekenaartomografie beeld.

Met die verloop van tyd is verbeterings aan die basiese ontwerp van rekenaartomograwe aangebring. Figuur 3.9b stel 'n derde generasie apparaat voor met 'n X-straalbron wat kan roteer en veelvuldige stralingsdetektors om die skanderingstyd aansienlik te verkort.



*Figuur 3.9a 'n Rekenaartomograafbuis met detektor en 'n moderne apparaat met veelvuldige detektors, Figuur 3.9b.*

Herkonstruksie van 'n beeld deur rekenaartomografie is 'n komplekse proses waarvoor 'n rekenaar noodsaaklik is. Die herkonstruksie algoritme genereer wat bekend staan as RT-getalle wat verwant is aan attenuasiekoëffisiënte. RT-getalle strek van  $-1000$  vir lug tot  $+1000$  vir been met water gestel op  $0$ . RT-getalle genormaliseer op die manier staan bekend as Hounsfield nommers (H).

$$H = \frac{\mu_{\text{weefsel}} - \mu_{\text{water}}}{\mu_{\text{water}}} \times 1000 \quad (3.7)$$

waar  $\mu$  die lineêre attenuasiekoëffisiënt is. 'n Hounsfield eenheid verteenwoordig dus 'n verandering van 0,1% in die attenuasiekoëffisiënt van water. Rekenaartomografie-informasie is van hulp in twee aspekte van behandelingsbeplanning:

- Afbeelding van die teiken volume en omliggende strukture met verwysing na die buite kontoere.
- Voorsiening van kwantitatiewe data (in die vorm van RT-getalle) vir korreksie van weefsel heterogeniteit.

Akkurate afbeelding van die oppervlak kontoere, interne strukture en teiken volume is nie net noodsaaklik vir die optimalisering van 'n behandelingstegniek nie, maar ook vir akkurate berekening van dosis distribusie. Korreksie vir weefsel heterogeniteit vir megavolt X-straalbundels kan met aanvaarbare akkuraatheid gedoen word deur die RT-deursnit beeld te gebruik (om die omvang van die heterogeniteit te bepaal) saam met gepubliseerde waardes van elektrondigtheid.

Daar is verskeie kommersiële behandelingsbeplanningsrekenaars beskikbaar wat RT-beelde kan vertoon en gebruik vir beplanning. Sodra die RT-beelde geneem is kan die data oorgedra word na die behandelingsbeplanningsrekenaar, of direk, of die buitelyne van die kontoere en inwendige strukture kan met die hand nagetrek



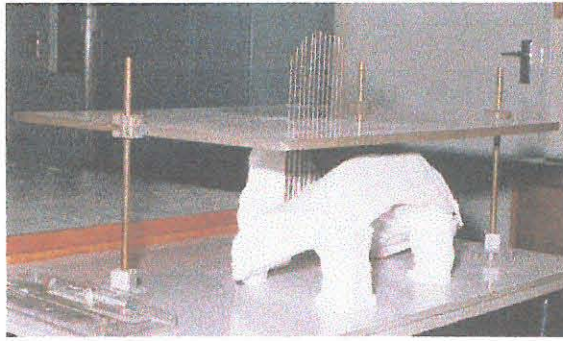
word en dan in die rekenaar ingevoer word. In direkte stelsels word die RT-beeld in grys-skaal mode op die TV-monitor van die beplanningstelsel vertoon. Strukture kan dan ingetrek word volgens RT-getalle. Wanneer die behandelingsplan gefinaliseer is kan dit gesuperponeer word oor die RT-beeld vir visuele vertoon [15, pp. 241-245].

## **3.7 Bestaande kompensator-vervaardigingstegnieke**

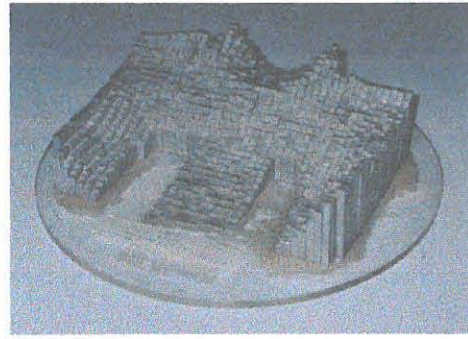
### **3.7.1 Aluminium kompensators**

Die oorspronklike tegniek om vir ongelyke behandelingsareas te kompenseer, is in 1959 deur Dr. Frank Ellis te Churchill hospitaal, Oxford voorgestel. Die kliniese toepassing van die tegniek is beskryf deur Ellis, Hall, en Oliver [11, p.421]. Vir die tegniek is dit nodig om 'n gipsafdruk te neem van die area wat bestraal wil word op die pasiënt. Die afdruk word onder 'n geperforeerde blad geplaas. Die perforasie bestaan uit gaatjies, 'n sentimeter uitmekaar in die lengte en breedte van die blad gespaseer, soos voorgestel in Figuur 3.10a.





(a)



(b)

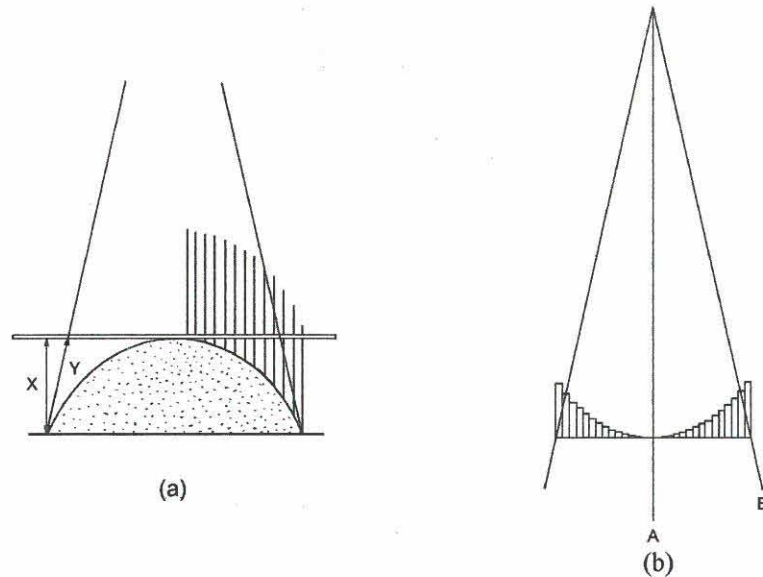
*Figuur 3.10a Kontoerbepaling vir 'n aluminium kompensator en 'n voltooide kompensator wat met die tegniek vervaardig is, Figuur 3.10b.*

Penne van dieselfde lengte word deur die blad gestoot en rus op die afdruk. Die lengte van die penne wat bo die blad uitsteek word gemeet en in volgorde genotuleer. Elke gemete lengte word van die totale lengte van die pen afgetrek. Hierdie bepaalde lengte word in die kompensatordikte vergelyking gestel om die lengte van die metaal stafies te bepaal.

Om die berekeninge tydens die vervaardiging van die kompensators te vergemaklik, word 'n enkele optimale waarde vir die lineêre attenuasiekoëffisiënt bepaal, wat die beste resultate vir enige veldgrootte of behandelingsdiepte sal lewer. Die regte lengte stafies word in volgorde met was op 'n Perspex™ plaat geplak om 'n kompensator soos voorgestel in Figuur 3.10b te voltooi. Die kompensator moet ook in verhouding kleiner gemaak word om voorsiening vir die divergensie van die bestraling te maak. Daarom word van 5mm x 5mm stafies vir die kompensator gebruik gemaak [11, p. 421].

Nadele van die tegniek:

- Dit is tydrowend om die tipe kompensators te bou [16, p. 593].
- Metings om die lengte van die metaalstafies te bepaal word vanaf 'n platvlak geneem (Perspex™ blad) soos voorgestel in Figuur 3.11a.



*Figuur 3.11a Metingsfout en bundelpenetrasiefout, Figuur 3.11b met aluminium kompensators.*

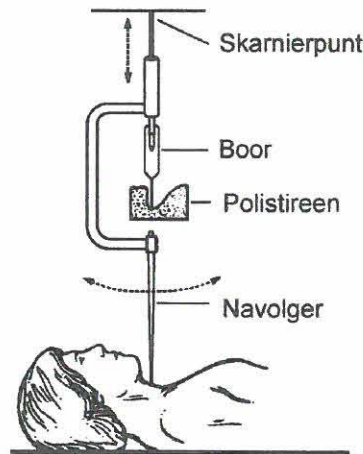
Afstand (X) stel die loodregte afstand tussen die plaat en die model voor en afstand (Y) die werklike padlengte wat 'n X-straal bundel sal volg. In die sentrum van die veld is afstand (X) en (Y) dieselfde, maar hoe verder daar van die sentrum beweeg word hoe groter sal die verskil wees as gevolg van die veranderende hoek weens die divergensie van die X-strale. Op die einde van die veld sal daar dus te min gekompenseer word aangesien die loodregte afstand korter is as die werklike padlengte van die X-strale [13, p. 45].

- Soos die afstandmetings loodreg geneem word, word die metaalfasies ook loodreg op die Perspex™ plaat gemonteer, soos voorgestel in Figuur 3.11b. Korrekte kompensering sal plaasvind in die geval van lyn (A) wat 'n X-straal voorstel wat loodreg deur die senter van die kompensator beweeg. 'n X-straalbundel weg van die senter sal egter egter skuins deur die kompensator beweeg as gevolg van die divergerende bestraling soos voorgestel deur lyn (B). Hoe nader aan die rante van die veld, hoe minder akkuraat sal die tipe kompensator dus wees [13, p. 46].
- Die trap vorm wat die kompensator aanneem dra by tot die onakkuraatheid van die kompensators aangesien dit slegs 'n benaderde weergawe van die werklike profiel van 'n menslike liggaam kan weergee [13, p. 46].
- Alhoewel 'n enkele optimale waarde vir die lineêre attenuasiekoëffisiënt berekeninge vergemaklik lei dit tot onakkuraatheid tydens die dikte bepaling van die kompensators [13, p. 43].

### 3.7.2 Was kompensators

Beck [7, p. 694] beskryf 'n tegniek waardeur 'n polistireen blok uitgehol word volgens die ongelyke pasiëntprofiel en opgevul word met paraffienwas om 'n kompensator te vorm. Die basiese apparaat om die polistireen mee uit te hol word voorgestel in Figuur 3.12.





*Figuur 3.12 'n Handbeheerde polistireen kompensatorsnyer.*

'n C-raam word aan 'n skarnier aan sy bo-punt gesuspendeer en kan op en af in die vertikale rigting gly. 'n Lang dun element is bo in die C-raam gemonteer. 'n Polistireen blok word in die blokhouer van die apparaat geskuif en die pasiënt (of 'n gips afdruk van die pasiënt) word op die blad van die apparaat neergelê sodat die middelpunt van die behandelingsarea regoor die skarnierpunt van die C-raam sal wees. Die element word aangeskakel en die profiel van die behandelingsarea word met die navolger aan die onderpunt van die C-raam gevolg om 'n verkleinde weergawe van die area uit die polistireen te smelt. Die afstand vanaf die skarnierpunt tot die pasiënt is dieselfde as die afstand vanaf die bron tot die pasiënt op die versneller. Die divergensie van die apparate sal dus dieselfde wees.

Die holte in die polistireen word met paraffienwas met dieselfde digtheid as menslike weefsel opgevul, om 'n kompensator te voltooi. Boge [8, p. 193] stel voor dat die element in die C-raam met 'n hoëspoed boor met 'n dun snybeitel vervang word. Die element smelt altyd 'n bietjie meer polistireen weg as die

deursnee van die element, terwyl 'n snybeitel presies die deursnee van die beitel wegsny wat tot beter akkuraatheid lei. Die basiese werking van die apparaat bly andersins dieselfde.

Nadele:

- Die maksimum dikte waarvoor gekompenseer kan word is beperk tot die maksimum dikte polistireen wat sal pas in die behandelingseenheid wat vir bestraling gebruik gaan word. Soms is hierdie toegelate dikte onvoldoende vir effektiewe kompensering, wat ander kompensatormediums noodsaak.
- Fisiese metings toon dat oorkompensering met die tipe kompensators plaasvind, aangesien daar slegs vir kompensering van die ongelyke behandelingsarea voorsiening gemaak word. Bestralingsverstrooiing deur die kompenseringsmedium word dus buite rekening gelaat. Die hoeveelheid verstrooiing word deur die dikte van die medium bepaal, wat met dié tipe kompensators aansienlik kan wees.

Aangesien die snybeitel in 'n vaste C-raam gemonteer word is die hoeveelheid vertikale beweging van die beitel dieselfde as die hoeveelheid beweging van die navolger aan die onderpunt van die raam wat oor die pasiënt beweeg word. Dit is dus nie moontlik om enigsins die snydiepte aan te pas om voorsiening te maak vir die bestralingsverstrooiing nie [8, p. 193].



### 3.7.3 Loodplaat kompensators

Dun loodplaat kan gebruik as kompenseringsmedium om 'n kompensator mee op te maak. Vir dié tegniek moet die ongelyke behandelingsarea verdeel word in kontoere wat punte op dieselfde hoogte verbind, geneem vanaf 'n plat vlak. Daar is verskeie tegnieke om die kontoere te bepaal en word in afdeling 3.6 bespreek. Die vertikale spasiëring tussen opeenvolgende kontoere is gelykstaande aan die weefsel wat 'n spesifieke dikte loodplaat verteenwoordig en word bepaal deur die kompensatordikte vergelyking uit afdeling 3.5.2. Elke kontoer word verklein om voorsiening te maak vir die bestralingsdivergensie en word op 'n loodplaat oorgetrek. Die plaat word uitgesny en op 'n Perspex™ plaat met die senterlyne van die bestralingsveld as verwysing, geplak [20, pp. 805-810].

Nadele:

- Soos beskryf, word die kompensatordikte vergelyking gebruik word om te bepaal hoeveel weefsel 'n spesifieke dikte loodplaat verteenwoordig. Daar word egter veralgemeen deur 'n optimale waarde vir die lineêre attenuasiekoëffisiënt te bepaal wat die beste voldoen aan enige veldgrootte of behandelingsdiepte. Dit lei tot minder akkurate kompensering [28, p. 452].
- Loodplaat hou 'n gesondheidsgevaar in wanneer dit met die hand gesny word, aangesien lood in 'n mate deur die vel geabsorbeer word, en dit in die liggaam opgeneem word [2, p. 361].

- Lood besit 'n hoë lineêre attenuasiekoëffisiënt. Die gevolg is dat een loodplaat 'n aansienlike dikte weefsel verteenwoordig. Die stappe in die kompensator is dus groot wat die profiel van die behandelingsarea nie getrou navolg nie.
- Loodplaat is nie altyd uniform in dikte [2, p. 361].
- Die proses om die uitsnypatrone op die lood te konstrueer is tydrowend en nie altyd presies [2, p. 361].
- Dit is moeilik om opeenvolgende lae presies op te lyn [2, p. 361].

### **3.7.4 Rekenaarbeheerde kompensatorsnyers**

Die ontwikkeling van moderne rekenaar numeries-beheerde (RNB) freesmasjiene tesame met behandelingsbeplanningsrekenaars en rekenaartomografie het 'n omwenteling in hedendaagse kompensator-vervaardiging teweeg gebring. Deur rekenaartomografie kan die liggaam se buitekontoere sowel as variasies in digtheid binne die liggaam akkuraat bepaal word sodat 'n optimale kompensator deur 'n behandelingsbeplanningsrekenaars ontwerp kan word.

Hierdie data kan dan oorgedra word na 'n RNB-freesmasjien wat, of direk die kompensator uit 'n gepaste kompenseringsmedium masjineer, of 'n negatief van die kompensator uit polistireen masjineer wat dan met 'n kompenseringsmedium gevul word. 'n Rekenaargedrewe freesmasjien bied 'n vlak van akkuraatheid en herhaalbaarheid wat nie maklik deur 'n ander tegniek nagedoen kan word nie.

Daar is 'n paar kommersiële rekenaarbeheerde kompensatorsnyers in die handel beskikbaar, ondermeer masjiene van Huestis™, HEK Medizintechnik™ en Par Scientific™. Die masjiene word in die algemeen gebruik om kompensators uit polistireen te sny wat dan met 'n gepaste kompenseringsmedium gevul word.

#### **3.7.4.1 Huestis Compuformer™**

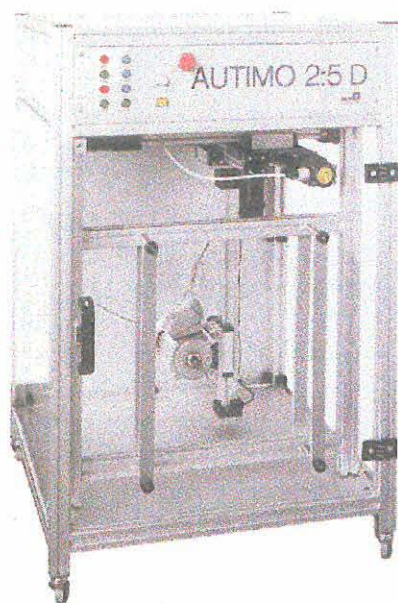
Huestis "Machine Corp.™" van Bristol Ierland bemark 'n 3-as kompensatorsnyer. Die masjien kan slegs loodreg tot die werksvlak sny en kan dus nie voorsiening vir bestralingsdivergensie maak nie. Maksimum snydiepte is tot 4.5 cm beperk wat nie vir laer digtheid kompenseringsmediums voldoende is nie. Om die probleem te oorkom stel Ansbacher, Robinson en Scrimger [5, pp. 1267-1272] voor dat die kompensator in lae van 4.5 cm gedeel word, uit polistireen gesny word en dan op mekaar geplak word vir 'n lae-digtheid kompenseringsmedium soos was.

#### **3.7.4.2 HEK Medizintechnik™**

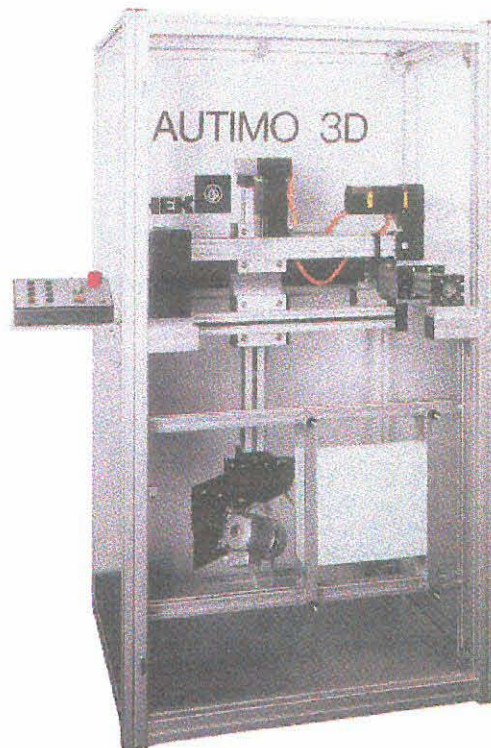
HEK Medizintechnik™ van Duitsland bemark twee masjiene in hul Autimo reeks geskik vir kompensator-vervaardiging soos voorgestel in Figure 3.13a en b.







(a)



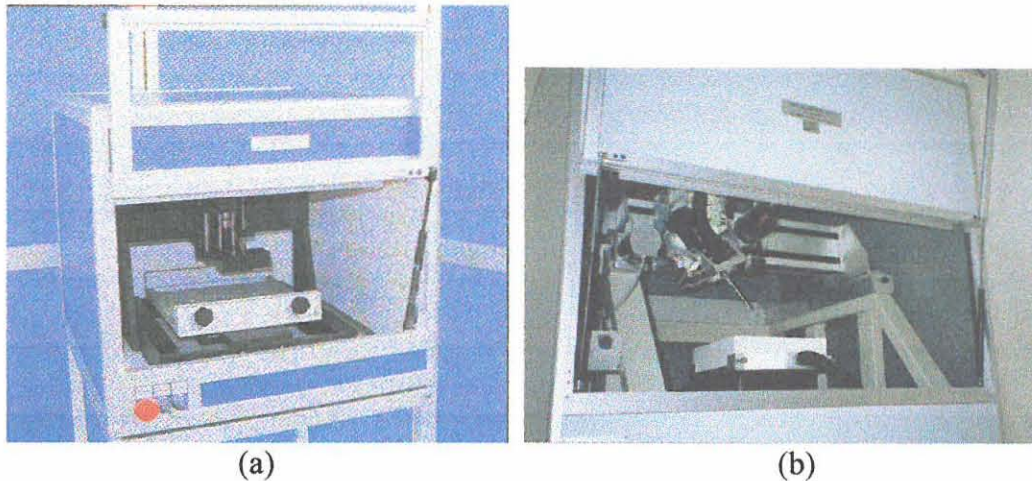
(b)

*Figuur 3.13a Autimo 2.5D en Autimo 3D, Figuur 3.13b kommersieel-beskikbare kompensatorsnyers.*

Die eerste is 'n 3-as snyer bekend as die Autimo 2.5D stelsel. 'n Tekortkoming van die masjien is dat dit slegs moontlik is om loodreg tot die werksvlak te sny. Dit besit egter 'n goeie maksimum snydiepte van 10 cm wat vir die meeste kompenseringsmediums geskik is. Die tweede masjien in die reeks is 'n 5-as snyer bekend as die Autimo 3D stelsel. Buiten vir die gewone X-, Y- en Z-bewegings besit die masjien twee verdere bewegings om die snykop skuins te kan draai. Dit is dus moontlik om loodreg sowel as divergerend tot 'n maksimum van  $45^\circ$  te kan sny. Snydiepte is ook tot 'n maksimum van 10 cm beperk.

### 3.7.4.3 Par Scientific™

Par Scientific™ van Denemarke bemark ook twee kompensatorsnyers soos voorgestel in Figure 3.14 a en b.



*Figuur 3.14a ACD-3 MK3 en ACD-5, Figuur 3.14b kommersieel-beskikbare kompensatorsnyer.*

Die ACD-3 MK 3 is 'n 3-as en die ACD-5 is 'n 5-as masjien soortgelyk aan die masjiene van HEK Medizintechnik™.

Masjiene soos die Autimo 3D en die ACD-5 is ideaal geskik vir die sny van kompensators. Dit word ook met goeie sagteware pakette aangebied wat versoenbaar is met die meeste kommersiële behandelingsbeplanningsrekenaars. Die enigste probleem met die stelsels is hul hoë pryse wat dit onbekostigbaar maak vir kleiner kankerafdelings.



### 3.8 Kompenseringsmediums

Daar word van verskeie mediums gebruik gemaak om vir ongelyke behandelingsareas te kompenseer. Watter medium gebruik word, word bepaal deur die kompensator-vervaardigingstegniek wat toegepas word. Paraffienwas, aluminium stafies en loodplaat is reeds bespreek in afdeling 3.7. Die ontwikkeling van moderne rekenaarbeheerde kompensatorsnyers het dit moontlik gemaak om kompenseringsmediums met 'n verskeidenheid van digthede te gebruik aangesien die sny diepte en gevolglik die kompensatordikte maklik aangepas kan word. Vir die tipe kompensatorsnyers word mediums gebruik soos lae-smeltpunt allooi, vlekvrystaal balletjies, tin balletjies met byewas en vlekvrystaal balletjies met gips.

#### 3.8.1 MCP-70 allooi

Dit is 'n mengsel van metale (26.7% lood, 13.3% tin, 50% bismut en 10% kadmium) met 'n besondere lae smeltpunt in hul gekombineerde vorm, tipies in die orde van 70°C. Die allooi staan ook in die handel bekend as Cerrobend™, Lipowitz™-, Woods™- of Fryesmetaal™. Die allooi word gewoonlik gebruik om afskermingsblokke te maak vir bestralings sensitiewe organe soos bv. die longe. Dit kan ook gebruik word as 'n kompenseringsmedium. 'n Rekenaarbeheerde kompensatorsnyer sny 'n holte uit polistireen volgens die ongelyke behandelingsarea op die pasiënt. Die holte word gelyk gevul met die MCP-70 allooi om te dien as kompensator. Die hoë digtheid van die medium sal tot 'n

baie plat kompensator lei wat 'n hoë mate van akkuraatheid van die kompensatorsnyer vereis. 'n Klein fout in snydiepte sal dus tot 'n aansienlike fout in kompensering lei. Plat kompensators kan egter noodsaaklik wees in bestralingseenhede waar daar nie veel ruimte gelaat word vir kompensators nie [21, pp. 415-421].

### 3.8.2 Vlekvrye staal balletjies

Klein vlekvrye staal balletjies kan as kompenseringsmedium gebruik word. Hierdie balletjies is in die handel verkrygbaar met 'n deursnee so klein as 0,3 mm. 'n Rekenaarbeheerde kompensatorsnyer sny 'n profiel uit polistireen en die holte word gelyk gevul met die balletjies om 'n kompensator op te maak. Dit is noodsaaklik om die kompensator te bedek met 'n dun Perspex™ plaat of soortgelyk om te voorkom dat die balletjies wat los lê in die polistireen, nie uitval wanneer die kompensator vir laterale of posterior bestralingsvelde gedraai word nie [25, pp. 78-80].

### 3.8.3 Tin balletjies met byewas

Tin balletjies kan met byewas gemeng word om te dien as kompenseringsmedium. Die medium word ook gebruik vir 'n kompensator wat deur 'n rekenaarbeheerde snyer gesny is. Dit is noodsaaklik om die balletjies met net genoeg was te meng om dit te laat bind. Indien te veel was gebruik word, sal die balletjies in die



mengsel uitsak. Die voordeel van dié tegniek bo balletjies alleen is dat dit nie nodig is om die kompensator te bedek nie [14, pp. 357-365].

### **3.8.4 Vlekvrye staal balletjies met gips**

Weeks, Fraas en Hutchins [27, pp. 410-414] beskryf 'n tegniek waarmee vlekvrystaal balletjies met 'n spesiale soort gips gemeng word. Dit word as kompenseringsmedium gebruik vir 'n kompensator wat deur 'n rekenaarbeheerde snyer gesny word. Wanneer gewone gips-poeier met water gemeng word bly daar altyd 'n klein hoeveelheid water in die gips agter nadat die chemiese verhardingsproses plaasgevind het. Die water wat agterbly veroorsaak 'n probleem indien die gips as kompenseringsmedium gebruik word. Die water verdamp oor die behandelingstyd wat veroorsaak dat die medium se digtheid verander. In teenstelling met gewone gips word die gipspoeier wat deur Weeks et al. beskryf word met 'n klein hoeveelheid water vermeng, wat alles opgeneem word in die verhardingsproses. Daar sal dus geen verandering in die medium se digtheid oor tyd wees nie. Die kompenseringsmedium is egter nie herbruikbaar soos die vorige mediums wat beskryf is nie, wat dit 'n relatiewe duur tegniek maak [6, pp. 77-81].

### 3.9 Gevolgtrekking

Uit die evaluering van bestaande kompensator-vervaardigingstegnieke bied die rekenaargesteunde tegniek die beste oplossing vir die akkurate vervaardiging van kompensators. Hierdie tegniek hou die volgende belangrike voordele in.

- Deur gebruik te maak van rekenaartomografie kan beide die buite kontoere van liggaam en variasie in digtheid binne die liggaam akkuraat bepaal word.
- Kompensator-vervaardiging d.m.v. 'n RNB-freesmasjien maak voorsiening vir modifikasie aan die kontoere voor gesny word aangesien dit nie 'n direkte sny tegniek is nie. Kompenseringsmediums met verskillende digthede kan dus gebruik word vir die vervaardiging van kompensators.



## **HOOFTUK 4**

### **ONTWIKKELING VAN 'n RNB-FREESMASJEN**

#### **4.1 Inleiding**

Na aanleiding van die voordele van 'n rekenaargesteunde kompensator-vervaardigingstegniek soos in Hoofstuk 3 bespreek, is daar besluit om 'n soortgelyke stelsel te ontwikkel vir Departement Onkoterapie, Nasionale Hospitaal, Bloemfontein. Die departement beskik reeds oor 'n rekenaartomograaf en 'n behandelingsbeplanningsrekenaar vir die akkurate ontwerp van kompensators. Weens die hoë koste van kommersieel-beskikbare rekenaarbeheerde kompensatorsnyers is daar besluit om self so 'n apparaat te ontwerp en te vervaardig. Die kompensatorsnyer is ontwikkel met die doel om 'n negatief van die beplande kompensator uit polistireen te masjineer. Die holte word gevul met 'n kompenseringsmedium wat vir die doel ontwikkel is om 'n kompensator te voltooi.

#### **4.2 Agtergrond van numeriese-beheer en rekenaar numeries-beheerde masjiene**

Daar word eerstens 'n kort agtergrond van numeriese-beheer aangebied om die leser instaat te stel om die RNB-freesmasjiene wat tydens hierdie studie ontwikkel is met RNB-freesmasjiene wat industrieel gebruik word, te vergelyk.



### **4.2.1 Wat is numeriese-beheer?**

Wanneer 'n masjien numeries beheer word, beteken dit dat die masjien sekere masjineringsfunksies outomaties uitvoer volgens gegewe informasie in die vorm van 'n kode. Die kode bestaan uit nommers, letters van die alfabet, leestekens en sekere ander simbole. Onder andere bepaal die gekodeerde informasie die posisie van die snybeitel relatief tot die werkstuk, spoed en rotasierigting van die beitel, beitel seleksie ens. Hierdie instruksies word aan die masjien gevoer in die vorm van informasieblokke. Elke informasieblok stel die masjien instaat om een afsonderlike werksfunksie uit te voer. Wanneer die blokke in volgorde uitgevoer word, kan die masjien dus 'n volledige onderdeel of "part" vervaardig. So 'n reeks instruksies word dan ook 'n "part-program" genoem.

Vroeër jare is hierdie "part-programme" op ponslint gestoor. Aangesien die ouer tipe numeries-beheerde masjiene nie oor geheue beskik het nie, is die masjineringsinformasie direk van die ponslint gelees. Herhaalde vervaardiging van dieselfde "parte" het gou veroorsaak dat die ponslint onleesbaar geword het en nie behoorlik wou voer a.g.v. slytasie op die lint nie[19, p. 1].

### **4.2.2 Rekenaar numeries-beheerde masjiene**

Die ontwikkeling van rekenaars het 'n verbetering in die metodes van programmering en masjienbeheer moontlik gemaak vir numeries-beheerde masjiene. Aangesien 'n "part-program" as 'n geheel in die geheue van die beheer

rekenaar gestoor kan word, kan weg gedoen word met die stadige en onbetroubare ponslinte en ponslintlesers. Dit is ook makliker om die “part-program” in die rekenaar se geheue te verander as op ‘n ponslint wanneer modifikasies aan die werkstuk aangebring moet word [19, p. 2]. Verskillende koderingsformate is spesifiek ontwikkel vir die beheer van RNB masjiene. Voorbeelde hiervan is ISO 7-bit kode en EIA standaard kode [19, pp. 68-72].

#### **4.2.2.1 Identifikasie van as-bewegings in RNB-masjiene**

As-bewegings word geïdentifiseer volgens gestelde standarde wat gebaseer is op die driedimensionele Kartesiese koördinaat stelsel. Die volgende reëls geld bv. vir RNB-freesmasjiene [19, p. 31].

- Z-as beweging is altyd parallel aan die rotasie-as van die snybeitel in ‘n RNB-masjien.
- X-as beweging is altyd parallel aan die vlak wat die werkstuk vashou en is loodreg tot die Z-as.
- Y-as beweging is altyd loodreg tot beide die Z-as en X-as.

Addisionele as-beweegrigtings kan bygevoeg word in die ontwerp van ‘n freesmasjien om bv. voorsiening te maak vir skuins snitte waar die beitel geroteer moet word. Beweging word as positief of negatief gespesifiseer afhangend van die rigting van beweging vanaf ‘n gestelde verwysingspunt op die masjien.

#### **4.2.2.2 Beheerstelsels vir RNB masjiene**

Akkurate beheer van die snybeitel-beweging is uiters belangrik in enige RNB-masjien. 'n Beheerstelsel kan gedefinieer word as een of meer toestelle wat onderling saamwerk om die stand van die masjienbeitel outomaties te hou of te verander op 'n voorgeskrewe manier [19, p. 39]. Onderskeid word getref tussen oop- en geslote-kring beheerstelsels [12, p. 10].

- Oop-kring beheerstelsels gee geen terugvoering aan die beheereenheid of 'n gegewe program instruksie uitgevoer is of nie.
- Geslote-kring beheerstelsels gee terugvoer aan die beheereenheid dat 'n gegewe program instruksie uitgevoer is d.m.v. terugvoer sensors.

Oop-kring beheerstelsels maak in die algemeen gebruik van stappermotors en geslote-kring beheerstelsels van servomotors om as-beweging te bewerkstellig.

### **4.3 Ontwerp kriteria vir 'n plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien**

Die RNB-freesmasjien wat tydens die studie ontwikkel is moet aan die volgende kriteria kan voldoen om suksesvol te wees:

- Dit moet moontlik wees om die apparaat te vervaardig met plaaslik beskikbare toerusting uit bekostigbare komponente.

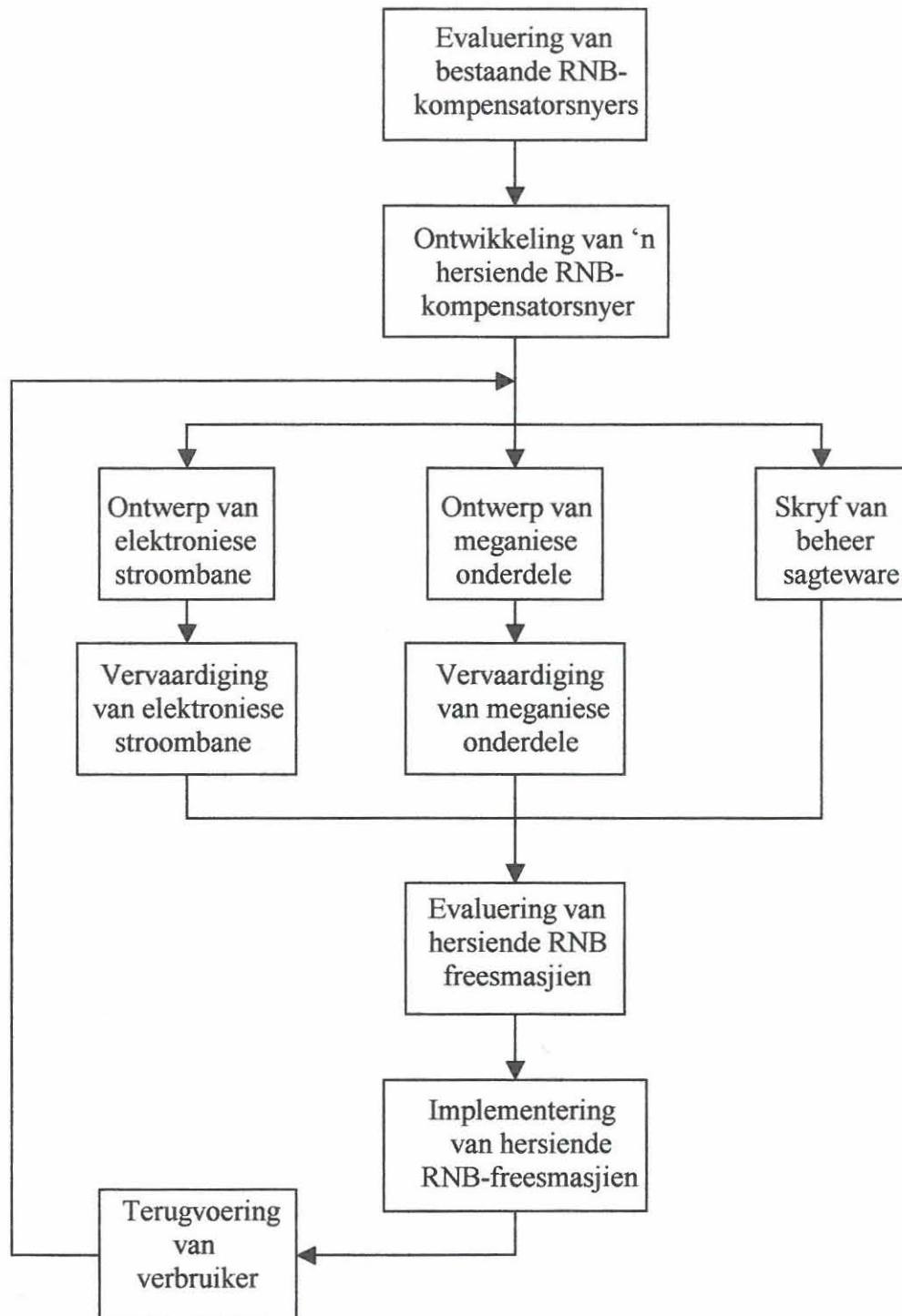
- Dit moet instaat wees om 'n negatief van 'n kompensator uit polistireen te kan masjineer om 'n volle veldgrootte van 40 x 40 cm op 'n 100 cm bron tot vel afstand te dek.
- Dit moet instaat wees om tot 'n maksimum diepte van 9 cm in polistireen te kan sny. Dit is die maksimum dikte polistireen blok wat in die skadurak van die beskikbare elektronversnellers pas.
- Dit moet akkuraat kan sny tot 1 mm in die lengte en breedte van die blok en tot 0,5 mm in sny diepte.

Die ontwikkeling van die plaaslik vervaardigde RNB-freesmasjien word in Figuur 4.1 d.m.v. 'n vloiediagram voorgestel.

#### **4.4 Stelsel hardeware: Meganies**

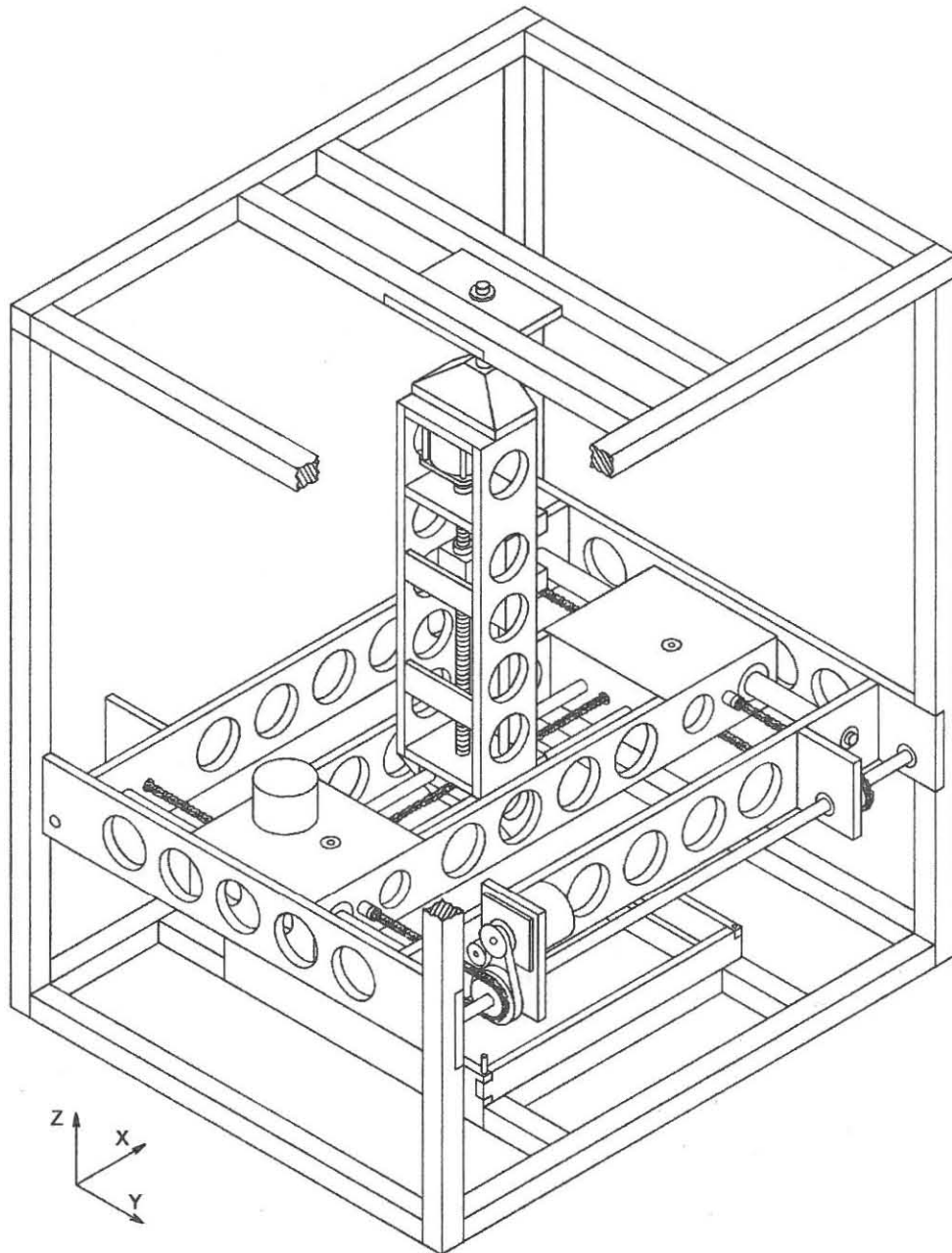
Tydens die ontwerp van die masjien is besluit op 'n 3-as RNB-freesmasjien aangesien dit die ontwerp vereenvoudig en meer bekostigbaar is. Om die apparaat skuins te laat sny volgens die divergensie van die X-strale met die beskikbare X-, Y- en Z-bewegings van 'n 3-as masjien is die apparaat gebaseer op die C-raam polistireen snyer wat in afdeling 3.7.2 bespreek is. In die apparaat is die vertikale beweging gesuspendeer aan 'n skarnierpunt aan sy bo-punt. Die afstand vanaf die skarnierpunt tot die rak wat die polistireen blok vashou, is dieselfde as die afstand vanaf die bron tot die kompensator in die skadurak van die elektronversneller. Die divergensie van die apparate is dus dieselfde. 'n Uitleg van die apparaat word in Figure 4.2 en 4.3 voorgestel.





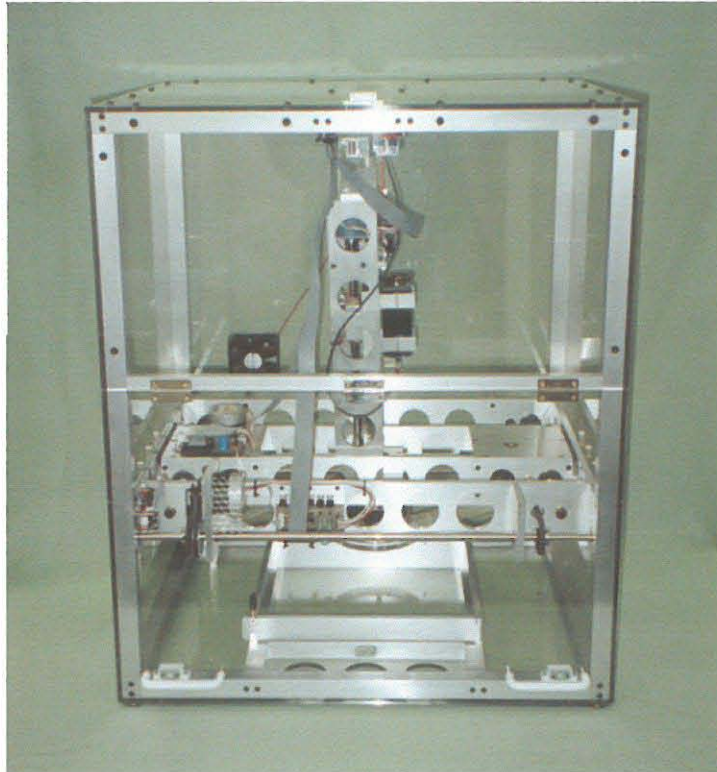
*Figuur 4.1 Vloeiagram van die ontwikkeling van die plaaslik vervaardigde RNB-freesmasjien.*





*Figuur 4.2 Die plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien.*

Beweging in die X-, Y- en Z-rigtings word bewerkstellig deur drie stappermotors elk met 200 stappe per omwenteling. Aluminium plaat van 9.4 mm is hoofsaaklik gebruik vir die konstruksie van die X-,Y- en Z-bewegingseenhede en 25 x 25 mm aluminium staaf vir die raamwerk van die apparaat.



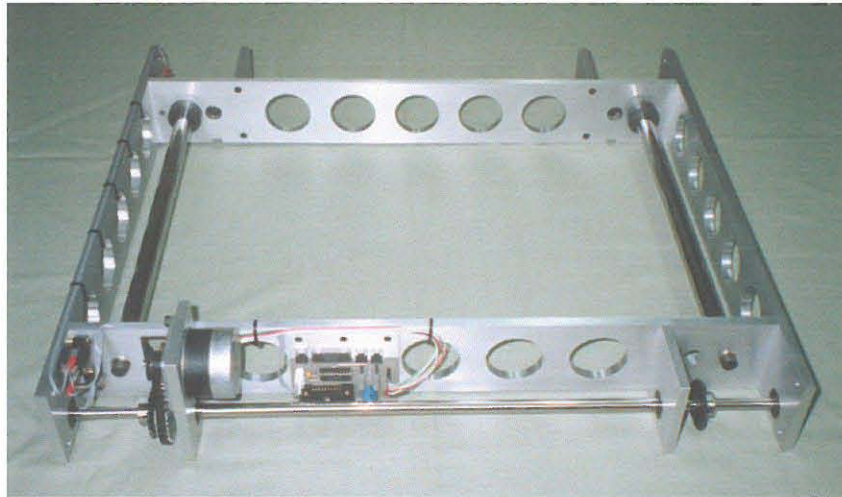
*Figuur 4.3 (foto) Die plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien.*



*Figuur 4.5 (foto) Die Z-bewegingseenheid.*



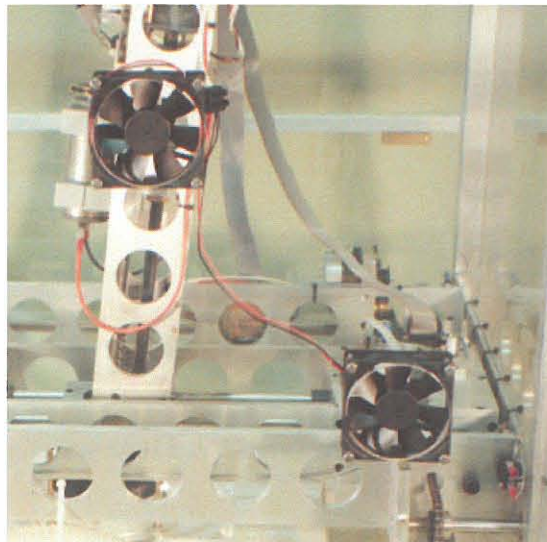
*Figuur 4.9 (foto) Die X-bewegingseenheid.*



*Figuur 4.12 (foto) Die Y-bewegingseenheid.*



*Figuur 4.14 Suigstuk van vakuumstelsel.*

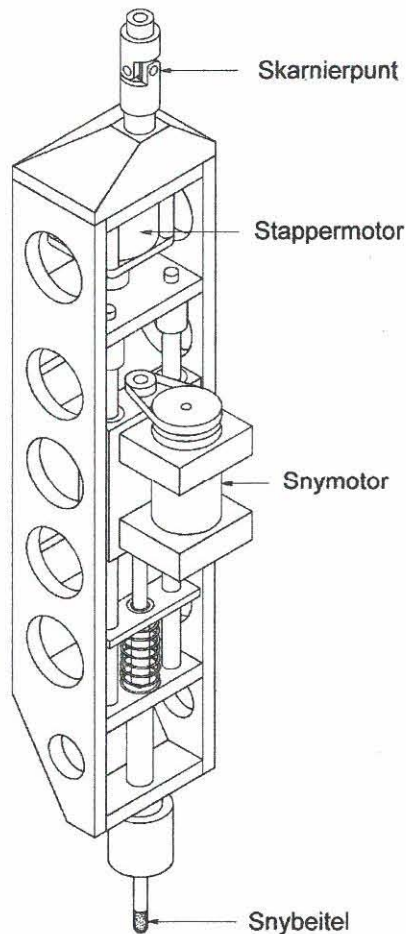


*Figuur 4.15 Waaiers vir ventilasiesistelsel.*

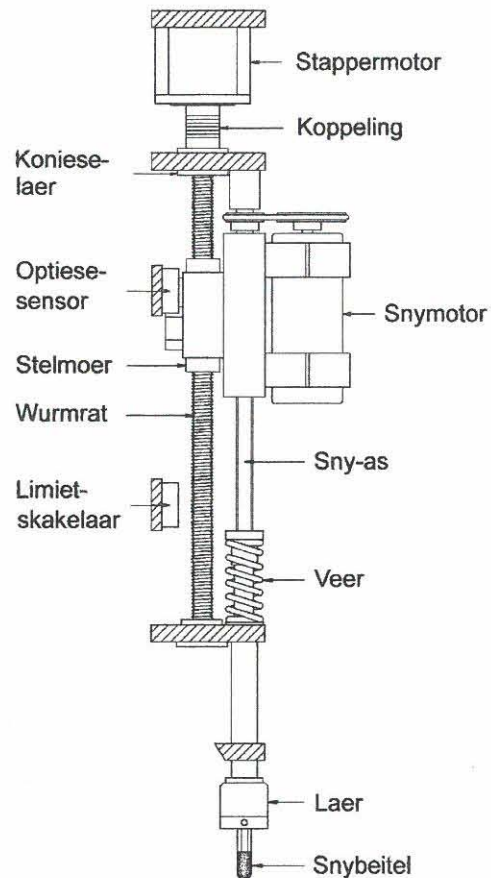


#### 4.4.1 Z-beweging

Vertikale beweging word bewerkstellig deur 'n stappermotor wat 'n wurmrat draai om op sy beurt die snymotor-monteerblok wat die sny-as bevat op en af te beweeg. Die Z-bewegingseenheid word in Figure 4.4 en 4.5 voorgestel met die eenheid se bewegingsmeganisme in Figuur 4.6.

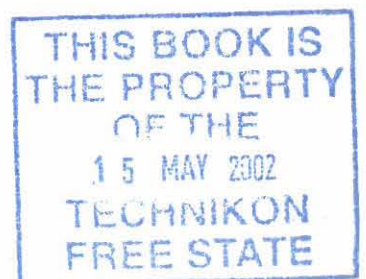


Figuur 4.4



Figuur 4.6

*Figuur 4.4 Z-bewegingseenheid. Figuur 4.6 Z-bewegingseenheid se wurmrataandrywing.*



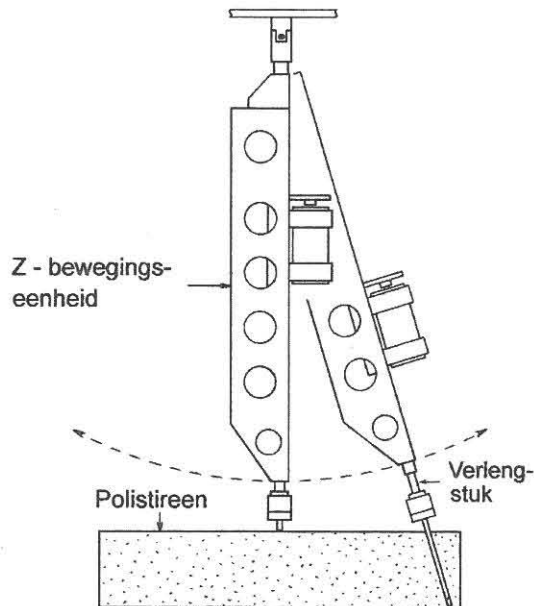
Die wurmrat wat gebruik is, is van 12 mm vlekvrige staal gemaak met standaard metriese draad. Dit word in posisie gehou deur twee koniese rollaers aan sy bo- en onderpunt. 'n Konsertinatipe koppeling is tussen die stapmotor en wurmrat gebruik om enige probleme met belyning uit te skakel. Die snymotor-monteerblok gly op en af langs twee 10 mm vlekvrige staal aste op Vesconite™ bussies. Voor aan die blok is 'n klamp gemonteer vir die snymotor en agter twee fosfor-brons moere waardeur die wurmrat draai. Die moere is verstelbaar om enige speling op die wurmrat op te neem.

Silwerstaal met 'n deursnee van 8 mm is vir die sny-as gebruik. Dit word in posisie gehou deur, en roteer in twee koeëllaers in die snymotor-monteerblok. 'n Derde koeëllaer is na aan die onderpunt van die as gemonteer om dit te stabiliseer wanneer gesny word. Die as is egter nie vas in die onderste koeëllaer nie, maar gly daardeur. Om te verseker dat die laer saam met die as draai is twee plat kante op die as gemasjineer. 'n Fosfor-brons verlengstuk van die binning van die laer bevat twee Vesconite™ pennetjies wat teen die plat kante van die as druk om rotasie te verseker. Aan die onderpunt van die as is 'n robyn beitel gemonteer wat die snywerk in die polistireen doen. As-rotasie word bewerkstellig deur 'n 60 Volt gelykstroom motor wat die as draai deur 'n katrol-en-band aandrywing met 'n 1 tot 2 verhouding. Die sny-motor se spoed van 6000 r/min word dus tot 12000 r/min versnel vir die sny-as.

Die Z-bewegingseenheid is gesuspendeer aan 'n skarnier aan sy bo-punt. Hierdie vaste bo-punt van die vertikale beweging veroorsaak 'n pendulum aksie vir die



eenheid, met die gevolg dat die snybeitel nader aan die polistireen blok beweeg in die middel, as aan die rant van die veld soos voorgestel word in Figuur 4.7.

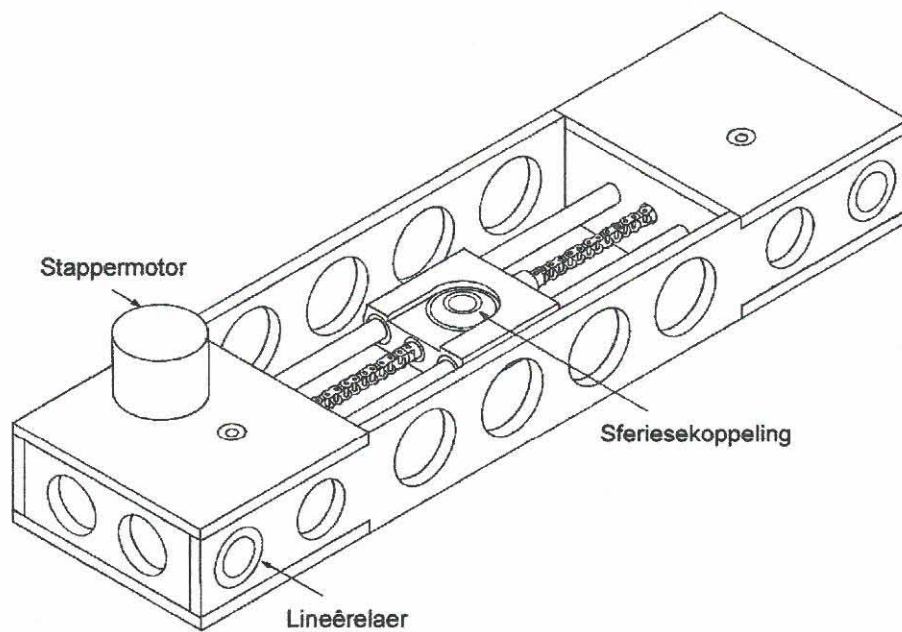


*Figuur 4.7 Pendulum aksie van Z-bewegingseenheid.*

Om deur 'n 9 cm blok te sny op rant van die veld moet die as tot 'n maksimum van 13.5 cm ongesteund uitstoot, wat tot 'n vibrasie in die as tydens die sny-proses gelei het. 'n Vibrasie van die snybeitel het 'n groter sny deursnee tot gevolg wat ongewens is. Ten einde die probleem te oorkom is 'n verlengstuk vir die buitering van die onderste koeëllaer geprakseer. Wanneer die snymotor-monteerblok tot op sy laagste posisie beweeg, druk dit teen die verlengstuk wat die koeëllaer uitstoot met die gevolg dat die sny-as nie langer as 10.5 cm ongesteund uitstoot nie. 'n Staal veer trek die laer en verlengstuk terug sodra vlakker gesny word.

#### 4.4.2 X-beweging

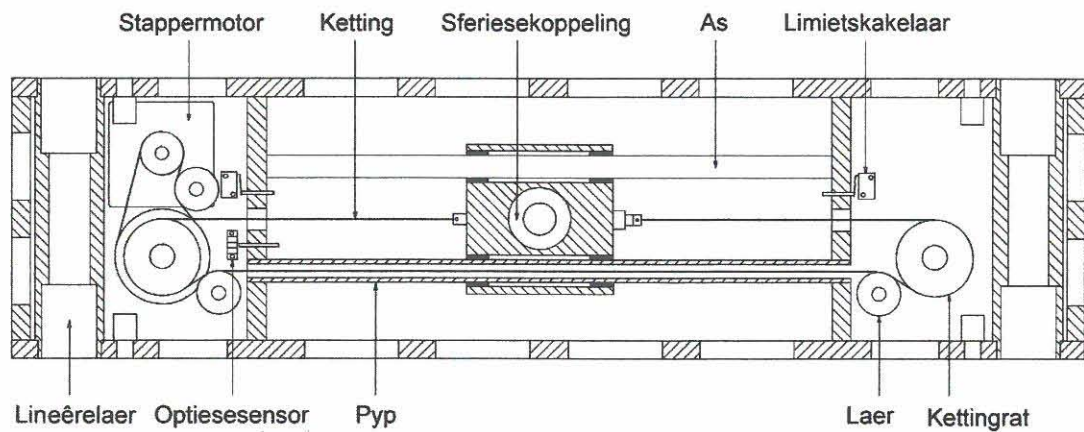
Horisontale beweging in die X-rigting word moontlik gemaak deur 'n stappermotor wat die onderpunt van die Z-bewegingseenheid deur middel van 'n kettingaandrywing beweeg. Die X-bewegingseenheid word in Figure 4.8 en 4.9 voorgestel.



*Figuur 4.8 Die X-bewegingseenheid.*

Die Z-bewegingseenheid word gekoppel aan die X-bewegingseenheid met behulp van 'n sferiese koppelstuk wat in 'n aluminium blok gemonteer is. Dit laat skarnieraksie toe in enige rigting, sowel as lineêre beweging. Die aluminium blok gly op Vesconite™ bussies, aan die een kant op 'n soliede ronde staaf en aan die ander kant op 'n pyp. Byde staaf en pyp is van vlekvrye staal gemaak met 'n

deursnee van 12 mm. 'n Basiese uitleg van die kettingaandrywing word in Figuur 4.10 uitgebeeld.

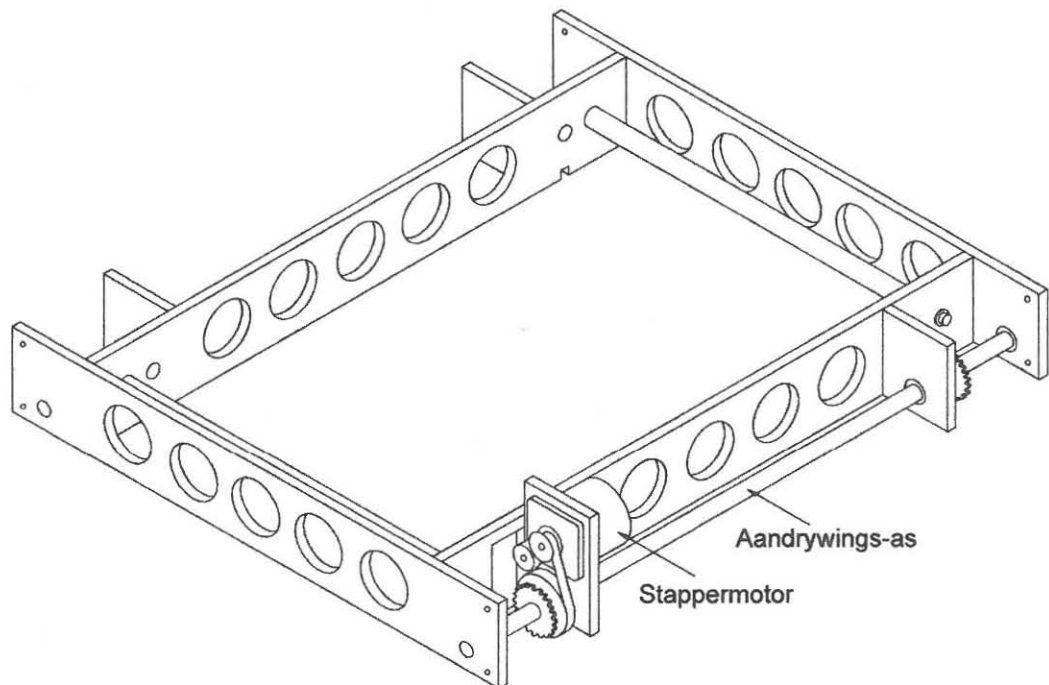


*Figuur 4.10 Die X-bewegingseenheid se kettingaandrywing.*

Die ketting is aan die aluminium blok se kopskante gekoppel. Een van die koppelpunte is in die vorm van 'n verstelbare skroef om die ketting se spanning te kan stel. Twee kettingratte elk met 20 tande en 'n deursnee van 40 mm is in die aandrywing gebruik. Die tandratte is op kort vlekvrystaal aste gemonteer wat in koeëllaers draai. Twee verdere laers druk die ketting in posisie en voer dit deur die pyp waarop die aluminium blok gly. 'n Stappermotor dryf die kettingmeganisme aan deur 'n katrol-en-getandeband aandrywing. 'n Katrol met 'n deursnee van 17 mm is op die stapmotor se as gemonteer en 'n groter katrol met 'n deursnee van 51 mm is op een van die kettingrat aste. Die katrol verhouding bring 'n reduksie mee van 3 tot 1. 'n Verstelbare spanner-meganisme ("tensioner") druk teen die getandeband om dit styf gespan te hou.

### 4.4.3 Y-beweging

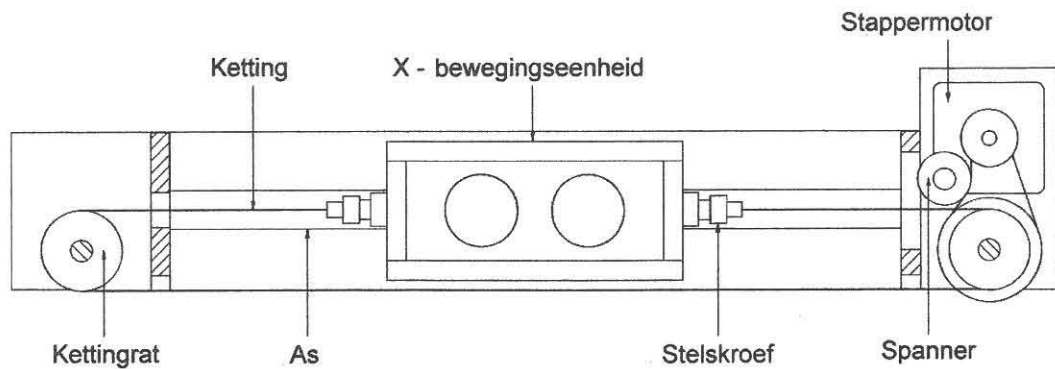
Horisontale beweging in die Y-rigting word moontlik gemaak deur die X-bewegingseenheid (wat gekoppel is aan die Z-bewegingseenheid) d.m.v. 'n stappermotor en kettingaandrywing te beweeg. Die Y-bewegingseenheid word in Figure 4.11 en 4.12 voorgestel.



*Figuur 4.11 Die Y-bewegingseenheid.*

Die X-bewegingseenheid beweeg op vier lineêrelaers wat gly op twee 16 mm ronde vlekvrre staal stawe wat in die Y-bewegingseenheid gemonteer is. Die kettingaandrywing word verduidelik met verwysing na Figuur 4.13. 'n Dubbel ketting aandrywing is vir stabiliteit gebruik. Die ketting is aan die X-bewegingseenheid gekoppel deur stelskroef koppelings om die kettingspanning te kan verstel.





*Figuur 4.13 Die Y-bewegingseenheid se kettingaandrywing.*

Twee kettingratte is op 'n aandrywings-as gemonteer met 'n verdere twee kettingratte op twee kort vrylopende aste. Al die aste is van 12 mm vlekvrystaal gemaak en draai in koeëllaers. Die aandrywings-as word gedraai deur 'n stappermotor met 'n katrol-en-getandeband aandrywing, soortgelyk aan dié van die X-bewegingseenheid. Die grootte van die kettingratte en katrolle is ook identies aan die wat in die X-bewegingseenheid gebruik is, met die gevolg dat die stapgrootte dieselfde sal wees vir die X- en Y-bewegings.

#### 4.4.4 Raamwerk

'n Raamwerk is van 25 x 25 mm aluminium staaf vervaardig om die X-, Y- en Z-bewegingseenhede te akkommodeer. Bo in die raam is voorsiening gemaak vir die hangpunt van die Z-bewegingseenheid en onder in die raam is 'n rak aangebring om die polistireen blokke in te skuif. Die blokke word in posisie gehou deur 8 skerp-gemaakte penne wat in die polistireen druk. Die raam is bedek met 6 mm hoë

impak Perspex™ plaat om die apparaat te beskerm. Voor in die kas is 'n deur gemaak vir toegang tot die polistireen blok.

#### 4.4.5 Vakuumstelsel

Die apparaat is toegerus met 'n vakuumstelsel om gesnyde polistireen te verwyder. 'n Perspex™ suigstuk is onder aan die aluminium blok wat die X- en Z-bewegingseenhede koppel gemonteer sodat dit die onderste koeëllaer van die Z-bewegingseenheid omsluit soos gesien kan word in Figuur 4.14. Die suigstuk beweeg parallel met die boonste oppervlak van die polistireen blok met 'n vryruimte van 3 mm. 'n Rubber seël sluit die suigstuk af aan sy bokant teen die Z-bewegingseenheid. 'n Buigsame plastiekpyp verbind die suigstuk met 'n sok aan die kant van die apparaat se kas. 'n Gewone huishoudelike stofsuier word aan die sok aan die buitekant van die kas gekoppel om die gesnyde polistireen op te suig.

#### 4.4.6 Ventilasiestelsel

Langdurige gebruik van die apparaat veroorsaak 'n hitte opbou binne die kas as gevolg van die hoë werkstemperatuur van die stappermotors. Om die probleem te oorkom is twee 120 mm waaiers agter in die apparaat se kas gemonteer soos in Figuur 4.15 gesien kan word. Die waaiers is op so 'n hoogte geplaas dat dit maksimum lugvloei oor die stapmotors sal verseker. Warm lug word uitgelaat deur die suigaksie van die stofsuier sowel as deur uitlate in die deur en vloer van die kas.

## 4.5 Stelsel hardware: Elektronies

Die RNB-freesmasjien wat tydens die studie ontwikkel is, maak gebruik van 'n oop-kring beheerstelsel. As-beweging in die X-, Y- en Z-rigtings word moontlik gemaak deur 3 stappermotors soos reeds beskryf is in die meganiese ontwerp van die masjien. Aangesien daar slegs ligte masjinerie in polistireen met die freesmasjien gedoen word, is die tipe aandrywingstelsel ideaal. 'n Oorsig oor die werking van stappermotors en die verskillende stroombane wat vir die aandrywing van die masjien ontwikkel is, word vervolgens aangebied.

### 4.5.1 Stappermotors

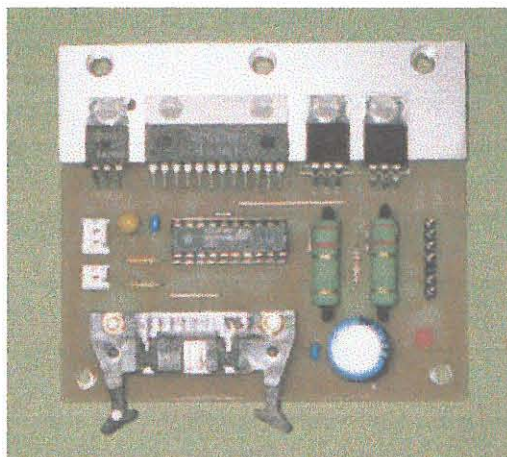
Anders as gewone elektriese motors waarvan die uitset-as aanhoudend roteer, roteer die van 'n stappermotor stapsgewys. Wanneer die motor 'n digitale sein (stap-puls) ontvang roteer die motor se as deur 'n spesifieke hoek (stap-grootte). Die hoek word bepaal deur die ontwerp van die motor en is tipies tussen 1.8 en 7.5 grade. Deur die aantal stap-pulse wat aan die stappermotors gestuur word te tel, kan die onderskeie as-bewegings in die freesmasjien akkuraat beheer word. Dit is dus nie nodig om posisionele terugvoering d.m.v. terugvoersensors aan die beheereenheid te stuur nie. Die snelheid van die as-beweging word bepaal deur die tempo waarteen stap-pulse aan die motor gestuur word (puls-tempo frekwensie). Hierdie pulstempo word deur die beheereenheid beheer om die mees effektiewe masjinerie spoed vir die freesmasjien moontlik te maak. Die gebruik van stappermotors in 'n oop-kring beheerstelsel hou die volgende voordele in:



- Deurdat daar nie gebruik gemaak word van terugvoersensors in 'n oop-kring beheerstelsel nie, word die masjien se aandrywingstelsel vereenvoudig.
- Aangesien die toevoerspanning op 'n stappermotor gehou word tussen stap-pulse staan dit eksterne beweging teen. Addisionele koppelaars of remme is dus onnodig om as-beweging tussen stappe te voorkom.
- Met stappermotors is maksimum wringkrag beskikbaar teen lae stap-tempos. Die onderskeie as-bewegings word dus gemaklik versnel vanuit 'n rustende posisie.
- Verskillende stappermotors wat vanaf dieselfde beheereenheid stap-pulse ontvang bly in perfekte sinkronisasie.

#### 4.5.2 Stappermotor-drywer borde

Elke stappermotor in die freesmasjien word afsonderlik aangedryf deur 'n stappermotor-drywer bord. Die drywer bord word in Figuur 4.16 getoon en 'n uitleg van die stroombaan in Bylaag A.1.



*Figuur 4.16 'n Stappermotor-drywer bord.*



Die kern vir die aandrywer borde is L297 (IC2) geïntegreerde stroombane wat deur SGS Thomson ontwikkel is. Die L297 integreer al die nodige beheer elektronika nodig om stappermotors aan te dryf. Om hierdie rede word die aandrywing van die motors aansienlik vergemaklik aangesien die gebruiker streng gesproke net nodig het om die kring te puls om die motor te laat stap. Die volgende insette op die L297 is ook van toepassing in hierdie aanwending:

- Cw/ccw : ‘n logika ‘0’ of ‘1’ op hierdie been bepaal die rigting waarin die motor sal stap – kloksgewys of anti kloksgewys
- “Half/full” : bepaal die stap modus waarin die motor sal stap. Die volgende is moontlik:
  - Vol stap
  - Half stap
  - Golf stap

Hoewel die L297 al die logika werk doen, is dit nie in staat om genoegsame drywing te lewer om die motor te laat stap nie. Vir hierdie doel word ‘n UDN2878W (IC1) aangewend, wat bestaan uit vier Darlington transistors. Om ‘n stappermotor te laat draai, word in effek ‘n vierkantsgolf toegepas op relatief groot inductors in die vorm van die motor se spoele. Dit is die aard van inductors om die verandering van stroomvloei teen te staan. Teen ‘n lae staptempo is hierdie effek klein aangesien die tye waar die puls konstant is (hoog of laag is) relatief lank is teenoor die tye wat die puls besig is om te verander (verander van hoog na laag of laag na hoog). Wanneer die motor egter vinnig stap, is daar baie meer toestandsveranderinge in ‘n gegewe tydsbestek en raak die teenstand van die motor

teen stroomverandering beduidend. Dit is prakties waarneembaar as toenemend verminderende stroomgebruik (en gevolglik kleiner wringkrag) hoe vinniger die motor gestap word.

Die probleem kan omseil word deur die spanning toegepas oor die motor, te lig sodra dit minder stroom trek, om sodoende die stroom en dus wringkrag konstant te hou. So 'n stroombaan kan maklik verwesentlik word in die vorm van twee konstante stroombronne.

Intern tot die L298 is twee stroomregulerende Puls Wydte Modulasie kapperkringe aangebring vir konstante stroom toepassings. Spanning kan hierdeur maklik na behoefte gelig word tot ongeveer 36V.

Uit praktiese aanwending van die kappers is die volgende waargeneem:

- Deur die spanning tot 36V te lig, gee die stappermotors sulke kragdadige stappe dat daar kommer ontstaan het oor die rukbewegings wat enkel stappe tot gevolg het. Oor 'n tydperk sal die rukbewegings meer nadelig vir die meganisme van die freesmasjien wees as wat die ekstra spoed tot nut is. Deur eksperimentering is besluit om die maksimum spanning tot ongeveer 10V te beperk.
- 'n Ander nadeel van die kapperkringe is dat die kappers uit die aard van hul werking, 'n onophoudelike skreeu geluid in die stappers veroorsaak.

Om hierdie probleme te oorkom, is daar besluit om eerder van lineêre reguleerders gebruik te maak in plaas van kappers. Hoewel lineêre reguleerders minder effektief as kappers is, is die spanningsverskil tussen die normale werkspanning van 5V en die verhoogde spanning van 10V laag genoeg om verliese aanvaarbaar te hou. Die lineêre reguleerders is verwesentlik in die vorm van twee LM 317 reguleerders (IC3 en IC4).

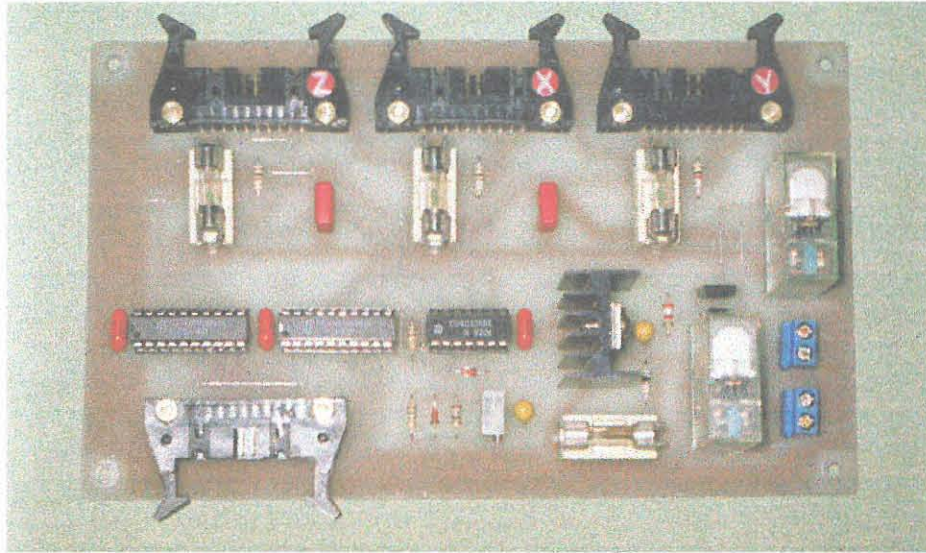
Op elke drywer bord is verder ook 'n 5V spanning reguleerder (IC5), wat 12V na 5V omskakel vir die L297 en koppeling vir die optiese nul-posisie sensors en die limiet skakelaars vir die betrokke beweeg rigtings.

### **4.5.3 Koppelvlak bord**

Die doel van hierdie bord is om die elektronika van die freesmasjien te koppel aan 'n rekenaar via die rekenaar se parallel poort. Twee 74LS244 geïntegreerde stroomkringe, IC1 en IC2, word gebruik om alle kommunikasie na en van die rekenaar te buffer. Die koppelvlak bord word in Figuur 4.17 getoon en 'n uitleg van die stroombaan in Bylaag A.2.

Elke beweegrigting van die masjien naamlik X, Y en Z beskik oor 'n optiese 'nul' posisie detektor. Hierdie detektors word gebruik om aanvangsposisies vir elke rigting te bepaal wanneer die toestel aangeskakel word. Elke optiese detektor word met behulp van 'n 74LS14 Schmitt sneller (IC3a, b en c) gebuffer om deur middel van histerese geraas op die sein te voorkom.





*Figuur 4.17 Die koppelvlak bord.*

IC3d en e vorm 'n oscillator wat onderbrekingsversoeke teen 'n tempo van ongeveer 300 per sekond opwek. Hierdie onderbrekingsversoeke word gebruik om aan die rekenaar aan te dui dat dit tyd is vir 'n volgende stappermotor stap. Die rekenaar sal alleenlik stap-pulse gee op aanvraag van 'n onderbrekingsversoeke. Die rede vir die gebruik van onderbrekingsversoeke is die volgende:

- Die rekenaar kan aangaan met ander take sonder om heeltyd tred te hou met wanneer dit tyd is vir 'n volgende motor stap.
- Dit verseker konstante spoed op die motors ongeag die taak waarmee die rekenaar besig is.
- Dit verseker dat die motors teen dieselfde spoed sal loop ongeag of dit 'n vinnige of stadige rekenaar is.

Daar word 'n 12V toevoer spanning na elke stappermotor-drywer bord gevoer. Hierdie 12V word gebruik vir logika op die borde en om die stappermotors aan te



dryf. Van elke stappermotor-drywer bord word die 12V deur limiet skakelaars gevoer. Die doel van die skakelaars is om die 12V motor aandryf spanning af te sny wanneer een van die motors tydens 'n foutsituasie die meganisme van die toestel in een van die limiete vasdryf. Die 12V word afgesny met behulp van 'n relê (REL1). Die aanwesigheid van die 12V word deur IC3f gemonitor en deurgegee na die rekenaar wat die nodige handeling sal deurvoer wanneer die 12V wegval.

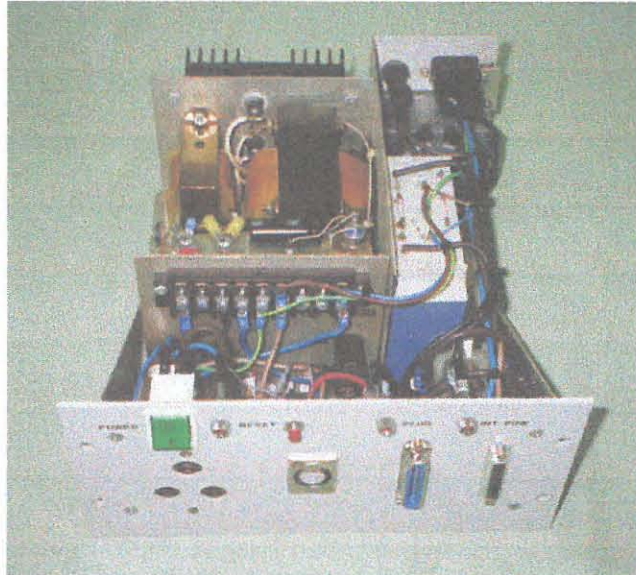
Elke stappermotor-drywer bord word beskerm deur 'n sekering (f1 – 3).

5V vir die logika kringe op hierdie bord word verskaf deur IC4 wat die 12V na 5V reguleer.

Die Snymotor word onder rekenaar beheer geskakel via transistor T1 wat op sy beurt relê REL1 skakel.

#### **4.5.4 Die kragbron**

Die doel van die kragbron is om krag te voorsien vir die freesmasjien en bestaan uit 4 dele. Die kragbron word in Figuur 4.18 getoon en 'n uitleg van die stroombaan in Bylaag A.3.



*Figuur 4.18 Die kragbron.*

#### **4.5.4.1 12V toevoer spanning**

12 V word verskaf deur 'n volledig gereguleerde kragbron wat instaat is om 17A te lewer. Dit word gebruik om krag te voorsien aan die koppelvlak bord en aan die drie stappermotor-drywer borde wat op hulle beurt die stappermotors aandryf.

#### **4.5.4.2 36V toevoer spanning**

36V word gebruik om die snymotor aan te dryf en bestaan uit 'n eenvoudige transformator, diodebrug, kapasitor kombinasie.

#### **4.5.4.3 Snymotor stroom monitor**

Die stroom gebruik van die snymotor word gemonitor deur 'n stroombaan gevorm deur IC1a,b,c en d. Daar word gewaak teen:

- Te hoë stroom: Wanneer die snymotor te veel stroom trek, dui dit waarskynlik daarop dat die snybeitel meer polistireen sny as wat veilig is.
- Te min stroom: Te min stroom beteken waarskynlik dat die dryfband wat die snymotor aan die sny-as koppel gebreek het.

In beide gevalle word die 12V van die stappermotors en die 36V van die snymotors onmiddelik afgesny deur REL1. Die monitor stroombaan beskik oor sy eie 12V kragbron gereguleer deur IC1 wat nie afgesny word tydens fout situasies nie en wat nie deur die rekenaar geskakel word nie.

#### **4.5.4.4 Vaste-toestand relê**

In die kragbron is 2 vaste-toestand relês wat gebruik word om die 220V kragtoevoer te skakel onder rekenaar beheer.

- SSR1 skakel die toevoer na die stofsuier vir die vakuumstelsel.
- SSR2 skakel die toevoer na die 12V van die stappermotors en die 36V van die snymotor kragbron.

## **HOOFSTUK 5**

### **REKENAARSAGTEWARE**

#### **5.1 Inleiding**

In hierdie hoofstuk word die sagteware wat vir die beheer van die RNB-freesmasjien geskryf, is verduidelik. Die program is in Pascal geskryf wat in die DOS-bedryfstelsel opereer. Koppeling tussen die beheer-rekenaar en die freesmasjien word moontlik gemaak d.m.v. die rekenaar se parallelpoort.

#### **5.2 Installering van die sagteware**

Die spesifieke bedryfstelsel is gekies om die sagteware versoenbaar te maak met industriële rekenaars. Hierdie rekenaars is baie betroubaar en kompak van formaat wat dit goed geskik maak om saam met 'n RNB-masjien te gebruik. Daar word dikwels van die DOS-bedryfstelsel gebruik gemaak vir hierdie rekenaars aangesien dit die volgende voordele bo die Windows bedryfstelsel bied:

- Dit is minder verwerker intensief, 'n kleiner verwerker is dus nodig.
- Minder geheue is nodig.
- Minder hardeskyf spasie is nodig.
- Dit is meer stabiel.
- Die rekenaar se bedryfsagteware selflaai ("boot") vinniger tydens aanskakel.

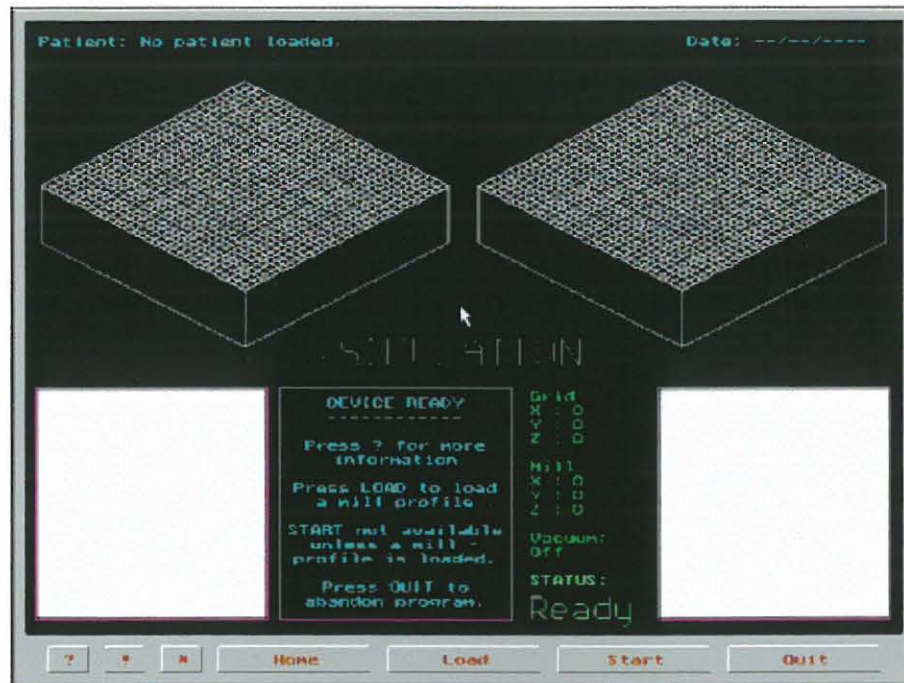


Die sagteware kan egter net so doeltreffend op 'n gewone persoonlike rekenaar bedryf word. Enige 486 rekenaar (soos wat vir die projek gebruik is) met 'n parallelpoort behoort geskik te wees. Wanneer die beheersagteware in werking tree probeer dit eerstens kommunikasie met die RNB-freesmasjien se koppelvlak bewerkstellig. Indien die poging onsuksesvol is beteken dit waarskynlik dat die freesmasjien nie aangeskakel is of korrek met die rekenaar gekoppel is nie. In so 'n geval vertoon die rekenaar 'n fout boodskap met 'n keuse tussen om weer te probeer of om die sagteware te demonstreer in 'n simulatie modus sonder die freesmasjien. Indien kommunikasie bewerkstellig is, beweeg die freesmasjien se X-, Y- en Z-bewegingseenhede na hulle onderskeie nul posisies.

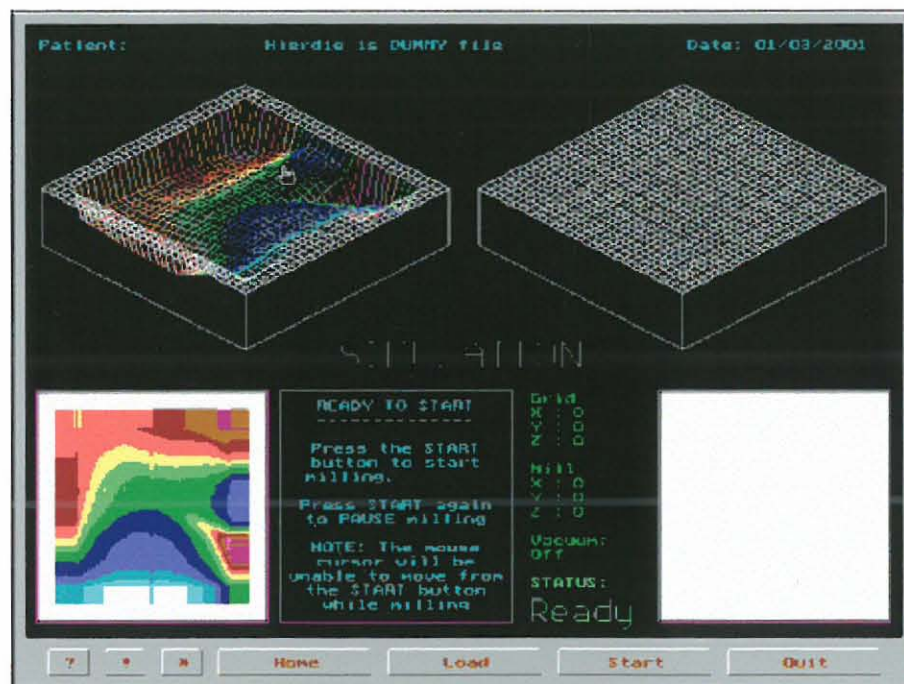
### **5.3 Die hoofblad uitleg**

Na suksesvolle inisiëring van die beheersagteware word die hoofblad van die sagteware op die rekenaarskerm vertoon soos in Figuur 5.1 voorgestel. Die genommerde komponente in Figuur 5.3 word gebruik as verwysing om die uitleg van die hoofblad te verduidelik.

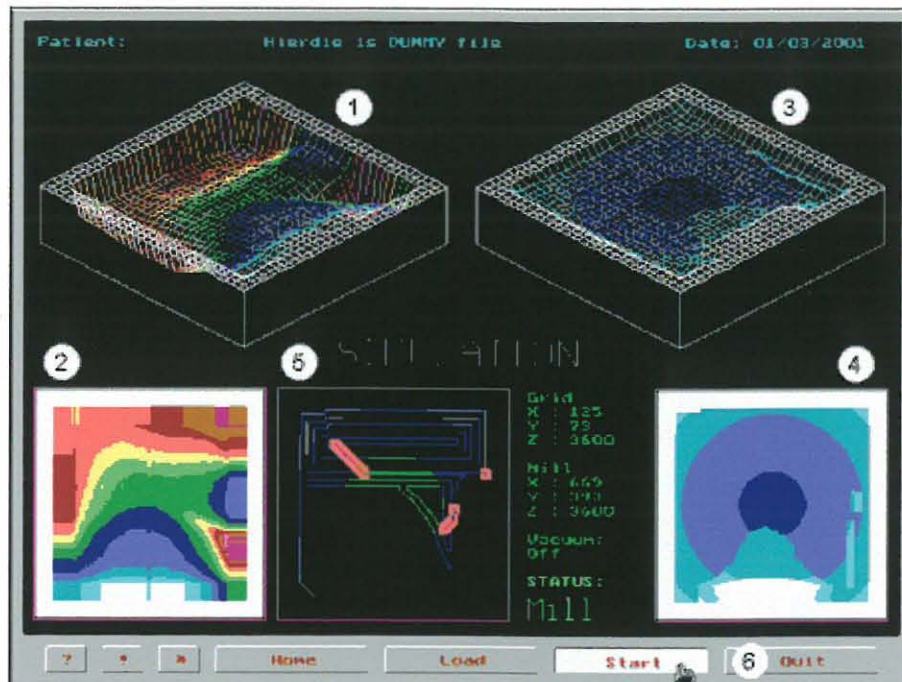
- 1) 'n Driedimensionele voorstelling van die pasiënt se kontoerdata wat ontvang is van die beplanningsrekenaar vir masjinerie.
- 2) 'n Tweedimensionele voorstelling van die kontoerdata.
- 3) 'n Driedimensionele voorstelling van die freesmasjien se vordering met die kompensator.



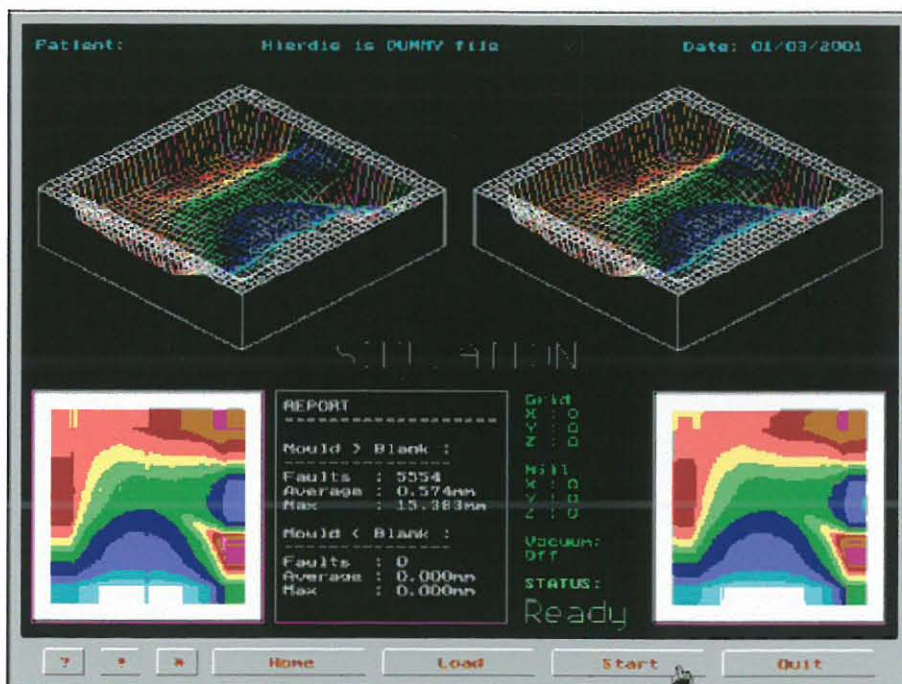
Figuur 5.1 Hoofblad van die beheersagteware.



Figuur 5.2 Beheersagteware met 'n pasiënt se kontoerdata gelaai.

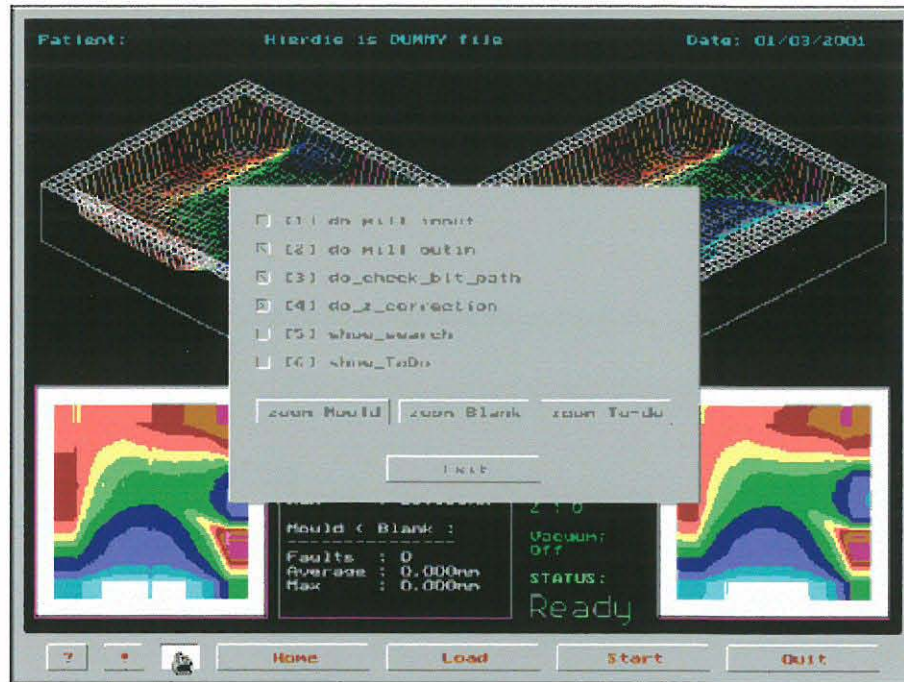


Figuur 5.3 Beheersagteware met 'n gedeeltelik voltooiëde kompensator.

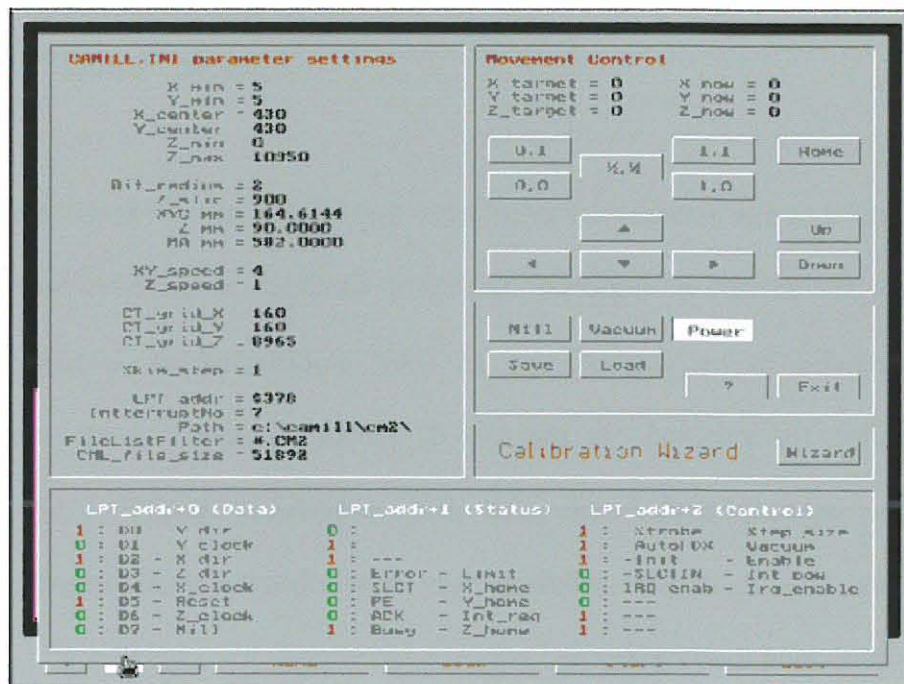


Figuur 5.4 Beheersagteware met 'n voltooiëde kompensator.





Figuur 5.5 Lys van beheer opsies.



Figuur 5.6 Kalibrasieblad van die beheersagteware.



- 4) 'n Tweedimensionele voorstelling van die vordering.
- 5) Inligting omtrent die freesmasjien se beheer opsies of 'n voorstelling van die beweging van die snybeitel oor die polistireen blok terwyl die snyer in werking is.
- 6) Funksie sleutels vir die beheer van die freesmasjien.

## 5.4 Funksie sleutels

'n Spesifieke beheerfunksie kan geaktiveer word deur óf die betrokke funksie sleutel op die hoofblad met die muis te selekteer óf die sleutel met die eerste letter van die naam van die funksie op die sleutelbord te druk.

### 5.4.1 "Load" sleutel

Deur die "Load" sleutel te selekteer word 'n lys van pasiënte wie se kontoerdata in die beheer-rekenaar se databasis gestoor is, vertoon. 'n Pasiënt wat uit die lys geselekteer is, se kontoerdata word na die freesmasjien se beheersagteware oorgedra om die apparaat instaat te stel om die kontoere uit polistireen te masjineer. Nuwe pasiëntdata kan aan die beheer-rekenaar vanaf die beplanningsrekenaar oorgedra word met 'n disket of deur direkte data oordrag d.m.v. 'n netwerk. 'n Voorbeeld van die beheersagteware met 'n pasiënt se kontoerdata gelaai, word in Figuur 5.2 getoon.



### 5.4.2 “Start” sleutel

Deur die “Start” sleutel te selekteer begin die freesmasjien met die masjineringsproses. Deur enige muis knop, of enige sleutel op die sleutelbord te druk word masjinerie onderbreek en kan die muis of sleutelbord gebruik word om enige van die beheer opsies te selekteer. Indien die “Start” sleutel weer geselekteer word sal die freesmasjien masjinerie hervat van waar dit onderbreek is. ‘n Voorbeeld van die beheersagteware met ‘n gedeeltelik voltooië kompensator word in Figuur 5.3 getoon, met ‘n voltooië kompensator in Figuur 5.4. Na die freesmasjien die kompensator klaar gesny het, beweeg die bewegingseenhede terug na hulle onderskeie nul posisies.

### 5.4.3 “Home” sleutel

Indien die gebruiker sou verkies dat die freesmasjien se bewegingseenhede moet terug beweeg na die nul posisie tydens ‘n onderbreking in masjinerie kan die “Home” sleutel geselekteer word. Die funksie is veral van hulp indien die gebruiker die polistireen blok wil verwyder tydens die onderbreking.

### 5.4.4 “Quit” sleutel

Deur die “Quit” sleutel te selekteer word die program verlaat en beheer terug oorhandig aan die bedryfstelsel (DOS).

### 5.4.5 “\*” sleutel

Seleksie van die “\*” sleutel vertoon ‘n tabel soos in Figuur 5.6 voorgestel. Die tabel bied opsies om van die beheer roetines aan of af te skakel vir demonstrasie doeleindes. Dit bied ook alternatiewe aansigte van die driedimensionele voorstelling van die pasiëntkontoerdata.

### 5.4.6 “!” sleutel

Seleksie van die “!” sleutel verleen toegang tot die kalibrasieblad van die sagteware soos in Figuur 5.6 voorgestel. Deur die “Calibration Wizard” sleutel op die blad te selekteer tree ‘n kalibrasie program in werking wat die gebruiker stapsgewys verduidelik hoe die freesmasjien gekalibreer word. Vir kalibrasie word ‘n doelgemaakte 300 x 300 x 90 mm Perspex™ blok waarop senterlyne en ‘n 268.8 x 268.8 mm veldgrootte uitgemerk is in die polistireen rak van die freesmasjien geplaas. Die spesifieke veldgrootte verteenwoordig ‘n 400 x 400 mm veld soos gemeet op isosenterhoogte wat die maksimum veldgrootte is wat versnellereenhede kan bied. Vir kalibrasie word die freesmasjien se snybeitel vervang met ‘n aanwyser met ‘n skerp punt met dieselfde lengte as die beitel. Deur die program instruksies te volg word die aanwyser respektiewelik na die senter van die veld, na een hoek van die veld en na die onderste vlak van die kalibrasie blok beweeg. Die “Movement” sleutels word gebruik om die bewegings moontlik te maak. Na die kalibrasieprogram voltooi is word die kalibrasie waardes in die masjineringsparameters gestoor.

### 5.4.7 “?” sleutel

Deur die “?” sleutel te selekteer word ‘n “Help” blad vertoon wat die doel van die verskillende funksie sleutels verduidelik.

## 5.5 Masjienbeheer-sagtewareroetines

Vervolgens word die sagtewareroetines wat vir die beheer van die freesmasjien geskryf is, beskryf. Anders as industriële RNB-freesmasjiene wat volgens standaard koderingsformate<sup>1</sup> beheer word, word die freesmasjien soos ‘n gewone drukker of “plotter” direk van die apparaat se beheer-rekenaar beheer. As gevolg van die beperkte lengte van die freesmasjien se snybeitel is dit nie oral moontlik om die totale verlangde snydiepte in ‘n enkel snit te sny nie. Die sagteware is gevolglik geskryf om masjinerie in opeenvolgende lae moontlik te maak tydens kompensatorvervaardiging. Figuur 5.7 word gebruik as verwysing om die logika agter die beheersagteware te verduidelik.

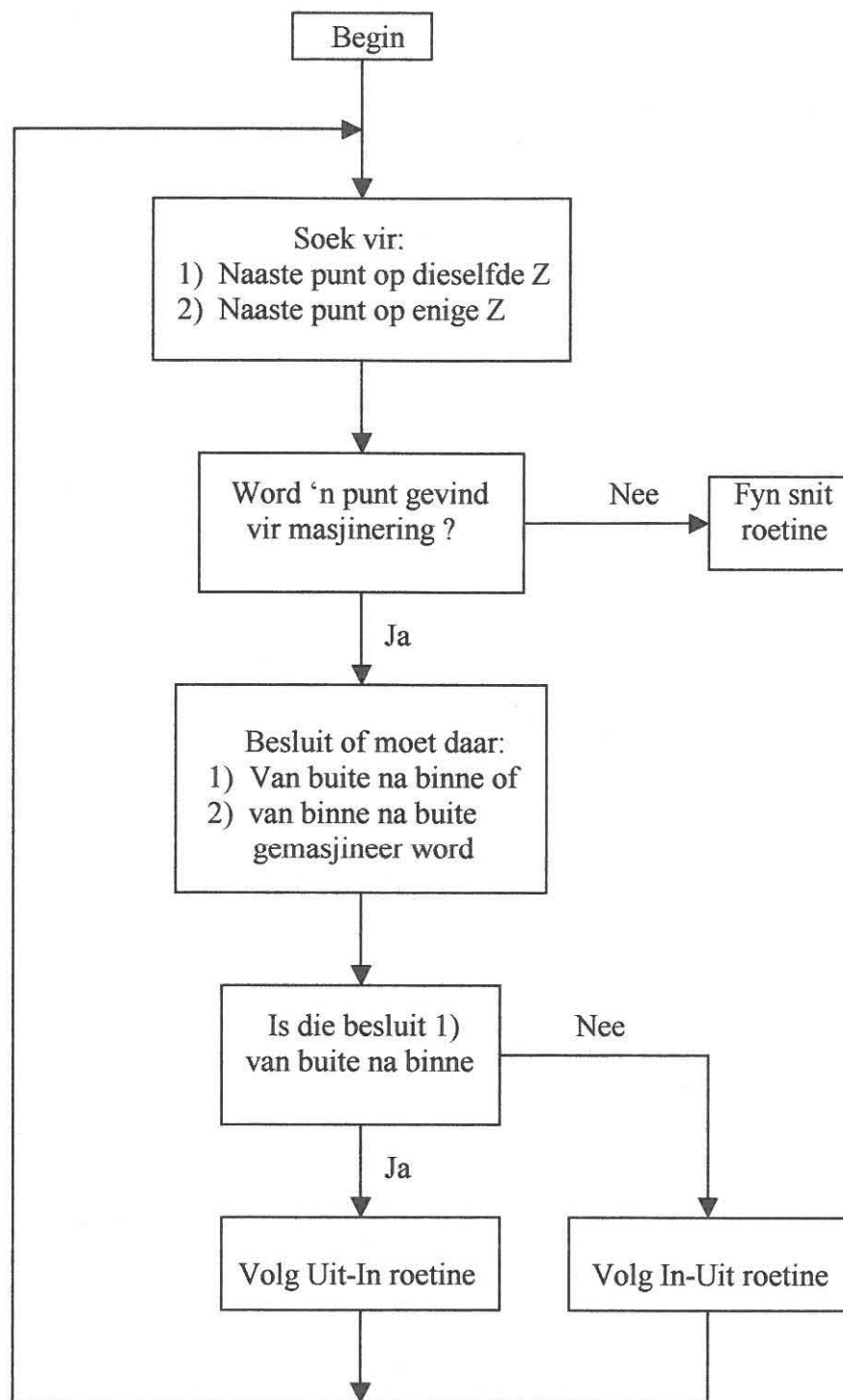
### 5.5.1 “Soek” roetine

Met die aanvang van masjinerie, roep die beheerprogram die “Soek” roetine. Die doel van die roetine is om punte binne die pasiënt se kontoerdata-lêer op ‘n geordende wyse te identifiseer waarvolgens die freesmasjien op ‘n sinvolle wyse

---

<sup>1</sup> kyk afdeling 4.2.2





*Figuur 5.7 Vloeidiagram van masjienbeheer-sagtewareroetines.*

beheer kan word om 'n kompensator uit polistireen te masjineer. Die “Soek” roetine soek in die vorm van 'n groterwordende sirkel vir 'n volgende masjineringspunt wat die vinnigste moontlik bereik kan word vanaf die freesmasjien se huidige beitel posisie. Die roetine neem in berekening dat Z-as beweging stadiger is as X- en Y-as beweging as gevolg van die Z-as se kleiner stapgrootte. Daar word dus voorrang verleen aan punte op dieselfde Z-vlak, bo punte op ander vlakke.

Wanneer die “Soek” roetine 'n geskikte masjineringspunt gevind het doen dit 'n gedetailleerde roetebepaling na die betrokke punt. Die sagteware bepaal die hoogte van die hoogste obstruksie op pad na die punt om die Z-as genoegsaam te kan lig om enige botsing tussen die beitel en die polistireen blok te voorkom.

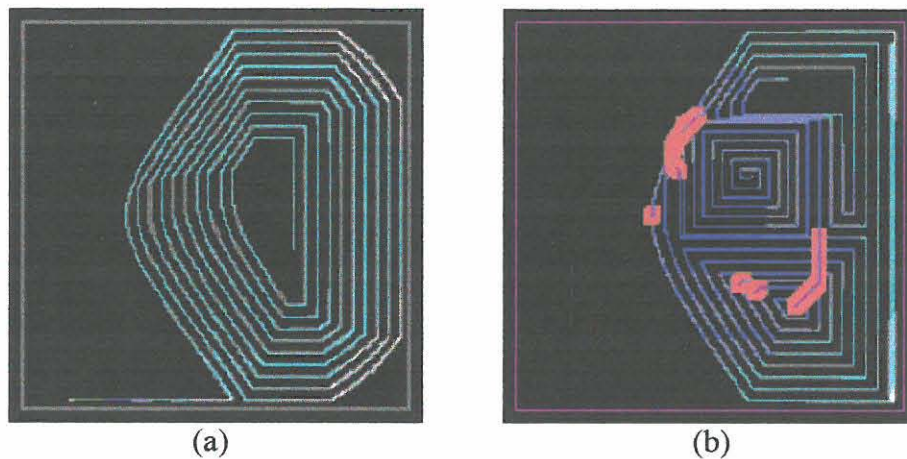
### **5.5.2 “Uit-In” en “In-Uit” roetines**

As gevolg van die freesmasjien se relatief stadige beweegsnelheid in die Z-as rigting moet beweging in die rigting tot 'n minimum beperk word ten einde kompensators se masjinerings tyd te verkort. Vir die doel is die “Uit-In” en “In-Uit” roetines ontwikkel wat masjinerings op dieselfde Z-vlak moontlik maak.

Nadat die “Soek” roetine die snybeitel na die volgende masjineringspunt beweeg het, word aan die hand van die masjineringspunt wat gevind is (sowel as deur punte wat nog gesny moet word) deur die sagteware besluit watter een van die twee roetines gevolg gaan word.

### 5.5.2.1 “Uit-In” roetine

Die roetine beheer die snybeitel om kloksgewys die kontoer van masjineringspunte op dieselfde Z-as hoogte te volg vir een revolusie waarna dit die binne rant van die vorige gesnyde pad volg soos in Figuur 5.8 voorgestel. Wanneer alle punte binne die ingeslote area gemasjineer is, skakel die sagteware terug na die “Soek” roetine.



*Figuur 5.8a Voorstelling van Uit-in en In-uit roetine, Figuur 5.8b.*

### 5.5.2.2 “In-Uit” roetine

Die roetine beheer die snybeitel om kloksgewys vanaf die punt wat deur die “Soek” roetine bepaal is te masjineer in die vorm van ‘n groterwordende vierkant op dieselfde Z-as hoogte. ‘n Voorstelling van die werking van die roetine word in Figuur 5.8b getoon. Sodra daar nie verdere punte is wat op die wyse gemasjineer kan word nie, skakel die sagteware terug na die “Soek” roetine.

### 5.5.3 “Fyn snit” roetine

Die “Uit-In” en “In-Uit” roetines maak optimaal gebruik van die lengte en breedte van die snybeitel tydens masjinerie van die kompensator om tyd te bespaar. Die gevolg hiervan is ‘n growwe afwerking op die oppervlak van die kompensator wat die pasiëntkontoere nie akkuraat navolg nie.

Wanneer die “Soek” roetine geen verdere punte vind om te masjineer nie, skakel die sagteware oor na ‘n “Fyn snit” roetine. Die roetine beweeg die beitel reglynig oor die breedte van die polistireen blok terwyl die beitel die kontoer van die kompensator in die Z-as rigting navolg. Aan die einde van die snit word die beitel ‘n aantal stappe in die lengte van die blok beweeg gevolg deur ‘n volgende snit in die breedte van die blok. Hierdie roetine word herhaal tot die hele veld gedek is. Die spasieëring tussen die snitte in die breedte van die blok word gespesifiseer deur die gebruiker en bepaal hoe fyn die finale afwerking op die kompensator sal wees.



## **HOOFSTUK 6**

### **ONTWIKKELING VAN 'n KOMPENSERINGSMEDIUM**

#### **6.1 Inleiding**

Na 'n deeglike studie van die bestaande kompenseringsmediums<sup>1</sup> is daar besluit om 'n doelgemaakte medium te ontwikkel om te gebruik vir die giet van kompensators wat met die RNB-freesmasjien gesny is. Die medium moet aan die volgende kriteria kan voldoen.

- Die komponente van die medium moet beskikbaar en bekostigbaar wees.
- Die medium se attenuasiekoëffisiënt moet hoog genoeg wees om vir 'n voldoende dikte weefsel te kan kompenseer binne die toegelate ruimte vir 'n kompensator.
- Die medium moet sy digtheid oor tyd behou en nie beïnvloed word deur faktore soos bv. lug-vogtigheid nie.
- Die medium moet maklik hanteerbaar wees.

---

<sup>1</sup> kyk afdeling 3.8

## 6.2 Uitvoering

Verskeie samestellings is uitgetoets in die soeke na 'n medium wat die beste aan die gestelde kriteria sal voldoen. 'n Mengsel van gipspoeier en paraffienwas het belowende aanvanklike resultate getoon wat verder ondersoek is. Eksperimenteel is bevind dat die beste verhouding tussen die paraffienwas en gipspoeier 2 : 3 is. Die was is in 'n dubbelkoker gesmelt, waarna die gips stadig bygevoeg is terwyl die mengsel goed geroer is. Vir elke 70g kompensatormengsel is 1ml mineraalolie bygevoeg om die materiaal makliker te laat meng en giet. Die vorming van klonte word so ook beperk. Die materiaal is by ongeveer 78°C in 'n 12x150x150 mm vorm gegiet terwyl dit gevibreer is om moonlike lugborrels te verwyder. Daar is tien plate gegiet wat vervolgens tot 'n dikte van 10 mm gemasjineer is. 'n Elfde plaat is tot 5mm gemasjineer.

## 6.3 Metings en resultate

Die kompensatorplate is gebruik vir transmissiemetings soos wat beskryf is in afdeling 3.5. 'n Fokus-vel-afstand van 100 cm en 'n veldgrootte van 10 x 10 cm is gebruik tydens die opstelling. Die metings is in intervalle van 0,5 cm van die kompensatormateriaal geneem teen drie verskillende X-straalenergieë. Soortgelyke plate is ook vervaardig van tandheelkundigewas en transmissiemetings is ook hiervan geneem. Die onderskeie metings word in tabel vorm in Bylaag B1 – B6 weergegee en d.m.v. grafieke in Bylaag B7 – B12. Die gemiddelde attenuasiekoëffisiënt waardes word in Tabel 6.1 getoon.

Tabel 6.1 Attenuasiekoëffisiënt waardes vir was en was-gips kompenseringsmediums.

Attenuasiekoëffisiënt	6MV	8MV	15MV
Tandheelkundige-was ( $\text{cm}^{-1}$ )	0,0401	0.0349	0,0280
Gips-was-mengsel ( $\text{cm}^{-1}$ )	0,0671	0,0581	0,0487

Om te bepaal watter dikte weefsel, 9cm van die kompensatormateriaal sal verteenwoordig, is die transmissie van die tandheelkundigewas gelyk gestel aan die van die gips-was mengsel soos beskryf in afdeling 3.5.2. Die resultate word in Tabel 6.2 getoon.

Tabel 6.2 Voorstelling van watter dikte weefsel 9 cm kompenseringsmateriaal verteenwoordig.

X-straalenergie	6MV	8MV	15MV
Dikte (cm) Gips-was	15.06	14.98	15.65

Die fisiese digtheid van die gips-was mengsel is bepaal as  $1.48 \text{ g/cm}^3$  deur 'n toetsmonster van die kompensatormateriaal se gewig deur sy volume te deel. Om die invloed van waterabsorpsie op die medium te bepaal, is die kompensatorplate oornag in 'n bak water laat lê. Die transmissiemetings is herhaal en vergelyk met die oorspronklike metings. 'n Persentasie verskil van minder as een persent is tussen die metings bevind wat as weglaatbaar min beskou kan word. Daar is kommer uitgespreek omtrent uitsakking van die swaarder gips partikels in die gesmelte medium tydens gieting. So 'n uitsakking kan variasie in die digtheid van

die kompensator tot gevolg hê wat ongewens is. Om die moontlikheid te ondersoek is 'n 20 cm kolom van die medium gegiet wat goed gevibreer is voor afkoeling. 'n Toetsmonster van die bo- en onderpunt van die kolom toon geen noemenswaardige verskil in fisiese digtheid van die medium nie.

## 6.4 Gevolgtrekking

Die gips-was mengsel voldoen goed aan die gestelde kriteria vir 'n kompenseringsmedium.

- Beide gips en paraffienwas is relatief goedkoop en beskikbaar. Die medium kan ook weer gesmelt en herbruik word indien nodig.
- Die medium se attenuasiekoëffisiënt laat toe vir voldoende kompensering binne die beskikbare 9 cm.
- Die medium behou sy digtheid oor tyd, word nie beïnvloed deur vogtigheid en toon geen uitsakking met minimale inkrimping tydens afkoeling.



## **HOOFSTUK 7**

### **EVALUERING VAN DIE RNB-FREESMASJIE**

#### **7.1 Inleiding**

Aangesien die RNB-freesmasjien afhanklik is van liggaamskontoerdata vir die vervaardiging van kompensators kan dit nie alleenstaande geëvalueer word nie. Die apparaat word dus as deel van die kompensator-vervaardigingstegniek wat in Hoofstuk 4 bespreek is geëvalueer. Chu en Lee [10, pp. 713-716], Ansbacher et al. [5, pp. 1267-1272] en Jursinic et al. [14, pp. 357-365] beskryf die evaluering van soortgelyke rekenaargesteste kompenseringsstelsels in hul onderskeie departemente.

#### **7.2 Evaluasie van dosisdistribusie**

Soos reeds beskryf, is die doel van 'n kompensator om te kompenseer vir 'n ongelyke behandelingsarea ten einde egalige dosisverspreiding oor die kompenseringsvlak binne die pasiënt moontlik te maak. Om te bepaal of kompensators wat met die plaaslik ontwikkelde kompensator-vervaardigingstegniek vervaardig is hierin slaag, word die kompensators onder gesimuleerde behandelingstoestande getoets.

### 7.2.1 Weefselekwivalente fantoom

‘n Fantoom met ‘n digtheid gelykstaande aan dié van menslike weefsel is gebruik om ‘n liggaam te simuleer tydens toetsing van die tegniek soos in Figuur 7.1 voorgestel.



*Figuur 7.1 ‘n Weefselekwivalente fantoom.*

Die fantoom is opgebou uit 1 cm lae van ‘n epoksie-hars materiaal en stel ‘n pasiënt in ‘n ruglêende posisie voor. Daar is groot variasie in kontoervorm oor die oppervlak van die fantoom wat dit by uitstek geskik maak om ‘n kompensator te toets. Die fantoom is opgestel in die voorgename bestralingsposisie op die blad van ‘n simulatoreenheid. Senterlyne en ‘n 30 x 30 cm veld is op die fantoom uitgemerk m.b.v. die eenheid se geprojekteerde ligveld.

### 7.2.2 Rekenaartomograaf

Die fantoom is na 'n rekenaartomograaf (Siemens Somatom™) geneem om te skandeer soos voorgestel in Figuur 7.2.



*Figuur 7.2 'n Fantoom opgestel vir 'n skandering met 'n rekenaartomograaf.*

Die senterlyne is as verwysing gebruik vir korrekte opstelling op die apparaat se blad. 'n Merker is op die kruispunt van die senterlyne aangebring om die sentrale snit aan te dui. Opeenvolgende snitte met 1cm spasiëring is van die fantoom geneem om die totale 30 x 30 cm veldgrootte te dek.



### 7.2.3 Behandelingsbeplanningsrekenaar

Data van die geneemde rekenaartomograaf (RT) snitte is oorgedra na 'n behandelingsbeplanningsrekenaar (Varian Cadplan™). Die volgende data moet bekend wees ten einde die rekenaar instaat te stel om 'n kompensator vir die fantoom te ontwerp.

- Kontoervorm van die fantoom.
- Attenuasiekoëffisiënt van die kompenseringsmedium wat gebruik gaan word, asook die X-straalenergie wat toegepas gaan word.
- Diepte in die fantoom waarvoor gekompenseer word.
- Senterpunt en grootte van die voorgenome bestralingsveld.

Om die kontoervorm van die fantoom vas te stel, bepaal die beplanningsrekenaar die buitelyne van elke geneemde RT-snit. 'n Duidelike beeld van die fantoom kan opgebou word uit die opeenvolgende buitelyne. Die attenuasiekoëffisiënt wat gebruik is, is soos wat bepaal is vir die gips-was medium teen 8 MV wat bespreek is in Hoofstuk 6. 'n Diepte van 13 cm is gespesifiseer as die kompenseringsvlak in die fantoom om genoeg variasie in kontoervorm oor die bestralingsveld te verkry. Die merker op die kruispunt van die senterlyne is as verwysing gebruik vir 'n veldgrootte van 30 x 30 cm. Al die beskikbare inligting stel die beplanningsrekenaar instaat om die beste moontlike kompensator vir die fantoom te ontwerp. Die rekenaar gee 'n voorstelling van dosisverspreiding oor die 13 cm kompenseringsvlak deur middel van isodosiskrommes. Bylaag C1 toon die



verspreiding sonder die kompensator en Bylaag C2 met die kompensator. Die isodosiskrommes dui op 'n verskil van 7% tussen die hoogste en laagste kromme sonder 'n kompensator, terwyl daar met 'n kompensator 'n verskil van 2% is oor die bestralingsveld.

Die beplanningsrekenaar stoor die kontoerdata in 'n matriks met 2.5 mm intervalle tussen opeenvolgende data lyne. Vir 'n 30 x 30 cm veldgrootte sal daar dus 121 datalyne wees met 'n totaal van 14641 datapunte. Gewoonlik word RT-snitte om die kontoervorm van 'n liggaam te bepaal nie op sulke kort intervalle geneem nie. Dit neem relatief lank om soveel snitte te neem wat ongerief vir die pasiënt kan veroorsaak aangesien die persoon vir dié tyd baie stil moet lê. Snitte op 'n interval van 1cm of groter is meer algemeen. Die beplanningsrekenaar bepaal die onbekende data tussen die sentimeter snitte d.m.v. interpolasie.

#### **7.2.4 Interpolasie sagteware**

Voor die kontoerdata na die RNB-freesmasjien oorgedra word om die vorm uit polistireen te masjineer moet die data eers deur 'n volgende interpolasie program verwerk word. Die program skakel die beplanningsrekenaar se 2.5 mm datalyne interval oor na die 0.445 mm datalyn interval wat nodig is vir die RNB-freesmasjien. Die 0.445 mm interval is agv. die stapgrootte van die freesmasjien in die X-, Y-rigtings. 'n Verdere omskakeling is nodig van die snydiepte-lesing in mm deur die beplanningsrekenaar na die 0.0088 mm stapgrootte in die Z-rigting van die RNB-freesmasjien.

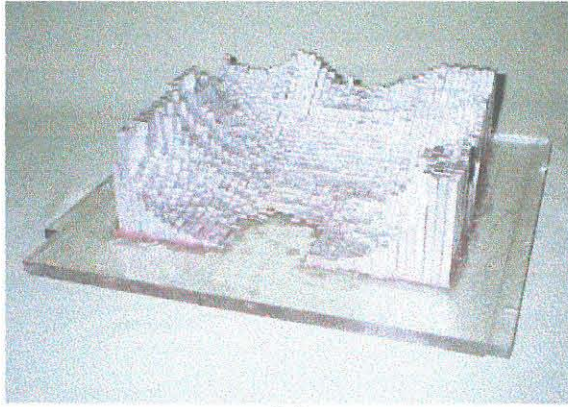
### **7.2.5 Kompensator-vervaardiging**

Met die nodige verwerkte kontoerdata beskikbaar is die RNB-freesmasjien instaat om 'n negatief vir die kompensator uit 'n 9cm polistireen blok te masjineer. Die gips-was kompenseringsmedium wat in Hoofstuk 6 bespreek is, is volgende in lae in die gesnyde holte gegiet terwyl dit gevibreer is om enige lug holtes in die kompensator te voorkom. Ten einde die kompensator te toets is die polistireen blok korrek opgestel en vasgeskroef aan 'n Perspex™ plaat wat pas in die skadurak van 'n versnellereenheid.

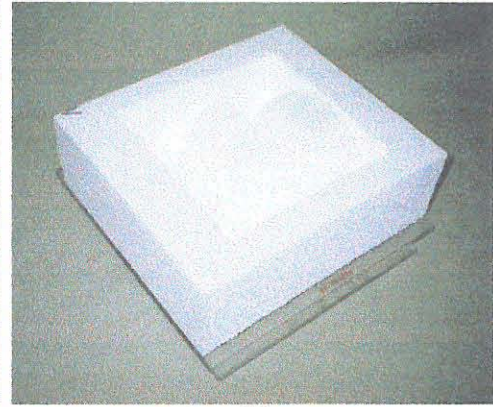
### **7.2.6 Addisionele kompensators**

Om die plaaslik ontwikkelde kompensator-vervaardigingstegniek te vergelyk met van die bestaande tegnieke is daar twee addisionele kompensators vervaardig vir die fantoom. Die eerste kompensator is met aluminium blokkies gebou en die tweede is gesny met 'n C-raam polistireensnyer soos in afdeling 3.7 beskryf. Figuur 7.3a toon die voltooië aluminium kompensator en Figuur 7.3b die gesnyde holte in die polistireen blok wat volgens die fantoom gesny is. Die holte is vervolgens gevul met tandheelkundigewas om 'n kompensator te voltooi.





(a)

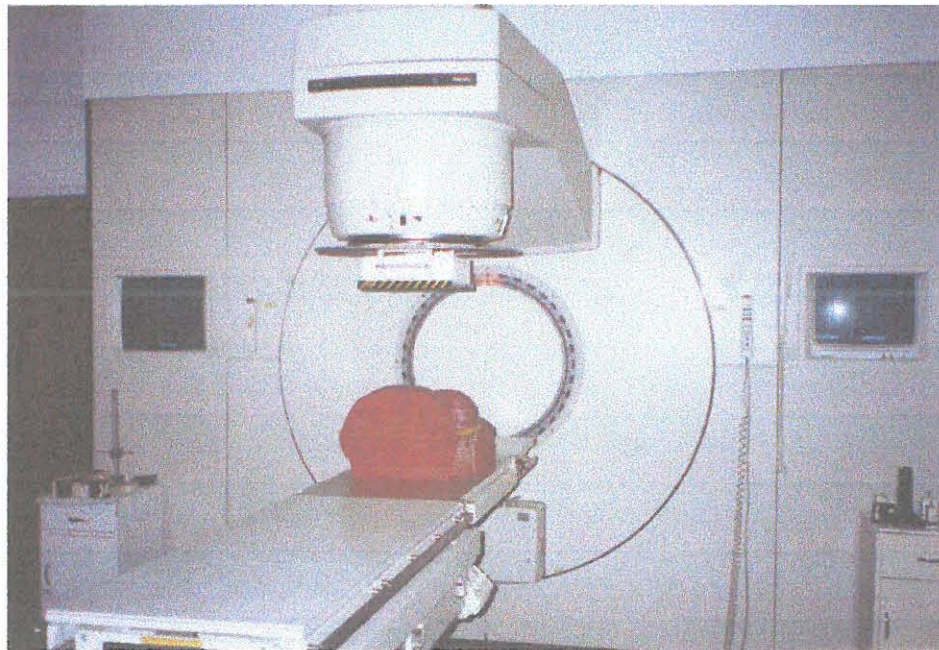


(b)

*Figuur 7.3a 'n Aluminium kompensator en 'n polistireen blok wat gesny is vir 'n kompensator met 'n C-raam polistireensnyer Figuur 7.3b.*

### **7.2.7 Toetsing van die kompensators**

Die prosedure wat gevolg is tydens die toetsing van die kompensators word verduidelik met verwysing na Figuur 7.4.



*Figuur 7.4 Versneller opstelling tydens kompensator toetsing.*

Die weefselekwivalente fantoom is op 'n elektronversneller (Phillips™ SL 25) se blad geplaas en is korrek opgelyn volgens die eenheid se geprojekeerde kruisdrade. Daar is van die volgende versneller instellings gebruik gemaak.

- Fokus-vel-afstand is op 100 cm gestel gemeet vanaf die hoogste punt op die fantoom.
- Veldgrootte is op 30 x 30 cm gestel.
- Versneller dromrotasie is op 0° en koprotasie op 90° gestel.

'n X-straalfilm is tussen die dertiende en veertiende laag van die fantoom geplaas.

'n Bestralingsdosis van 100 rad<sup>1</sup> teen 'n X-straalenergie van 8 MV is aan die fantoom toegedien. Die X-straalfilm is vervang met 'n nuwe film op dieselfde diepte in die fantoom. 'n Skadurak is aan die versnellereenheid se kop gehak en die aluminium kompensator is daarin geskuif. 'n Bestralingsdosis soortgelyk aan die vorige een is deur die kompensator aan die fantoom toegedien. Die prosedure is herhaal vir die was en gips-was kompensators. 'n Kodak™ ontwikkelaar is gebruik om die X-straalfilms te ontwikkel.

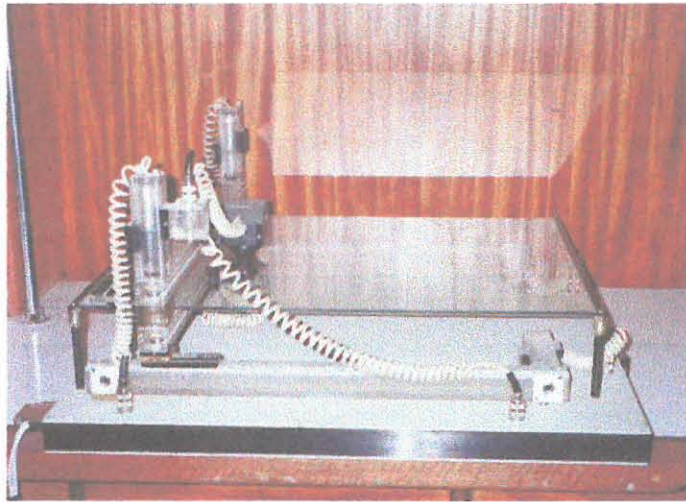
### 7.2.8 X-straalfilm data

Al vier die geneemde X-straalfilms is vervolgens geskandeer op 'n Wellhofer™ outomatiese optiese digtheidsmeter soos voorgestel in Figuur 7.5.

---

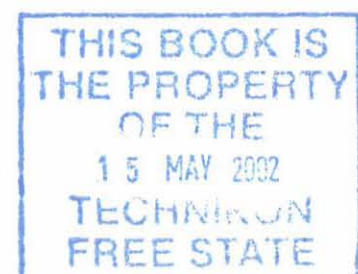
<sup>1</sup> Dit is die eenheid vir geabsorbeerde dosis in weefsel [26, p. 65].





*Figuur 7.5 Wellhofer™ outomatiese optiese digtheidsmeter.*

‘n Optiese detektor is bo die apparaat se glasblad gemonteer met ‘n ligbron direk daaronder, onder die blad. Die X-straalfilm word op die blad geplaas. Die detektor en ligbron word reglynig oor die film beweeg terwyl die detektor die ligintensiteit deur die film meet om die digtheid oor die film te bepaal. Opeenvolgende digtheidsmetingslyne is met 1 cm intervalle oor die film geneem. Die digtheidsmetingslyne word voorgestel as isodigtheidskrommes deur die apparaat se rekenaar. Met al die data bekend is die rekenaar instaat om digtheidskrommes van die optiese digtheidsverspreiding op die kompenseringsvlak te bepaal. ‘n Uitdruk van die isodigtheidskrommes word in Bylaag C3 - C6 getoon. Die verskil tussen die hoogste en laagste persentasie isodigtheidskrommes binne die bestralingsveld word in Tabel 7.1 vir elke X-straalfilm getoon.



Tabel 7.1 Vergelyking tussen isodigtheidskrommes van verskillende kompenseringsmediums.

Sonder kompensator	Aluminium kompensator	Was Kompensator	Gips-was kompensator
20%	10%	10%	5%

Die gips-was kompensator toon 'n kleiner verskil tussen die hoogste en laagste isodigtheidskromme as vir die ander twee kompensators. Hoe kleiner die verskil, hoe meer egalig is die dosisverspreiding oor die kompenseringsvlak. Die kompensator wat met die plaaslik ontwikkelde kompensator-vervaardigingstegniek vervaardig is kompenseer dus beter vir die ongelyke bestralingsarea op die fantoom as kompensators wat met die ouer tegnieke vervaardig is. Aangesien die fantoom 'n menslike liggaam voorstel kan verder afgelei word dat die tegniek ewe goed sal kompenseer vir 'n ongelyke behandelingsarea op 'n pasiënt.

### 7.3 Gevolgtrekking

Tydens evaluering van die plaaslik ontwikkelde kompensator-vervaardigingstegniek is getoon dat dit met die tegniek moontlik is om kompensators te vervaardig wat egalige dosisverspreiding oor die kompenseringsvlak moontlik maak. Die RNB-freesmasjien wat tydens hierdie studie ontwikkel is vorm die kern van die plaaslik ontwikkelde kompensator-vervaardigingstegniek. Aangesien die tegniek as 'n geheel suksesvol is kan daar dus afgelei word dat die freesmasjien akkuraat kompensators kan sny volgens die gegewe kontoerdata.

Die RNB-freesmasjien voldoen goed aan die kriteria wat aanvanklik vir die apparaat gestel is.

- Dit is vervaardig met plaaslik beskikbare toerusting uit bekostigbare komponente.
- Dit is instaat om 'n negatief van 'n kompensator uit polistireen te masjineer tot 'n veldgrootte van 40 x 40 cm met 'n diepte van 9 cm.
- Dit kan akkuraat sny tot 0.45 mm in die X-, Y-rigtings en tot 0.001 mm in die Z-rigting.

Die plaaslik ontwikkelde kompensator-vervaardigingstegniek toon 'n verbetering op die ouer kompensator-vervaardigingstegnieke. Dit vergelyk ook gunstig met moderne tegnieke wat gebruik maak van kommersieel-beskikbare RNB-freesmasjiene vir kompensator-vervaardiging. Die freesmasjien wat in die plaaslik ontwikkelde tegniek gebruik word is egter teen 'n fraksie van die koste van die kommersiële freesmasjiene vervaardig.

## **HOOFSTUK 8**

### **SAMEVATTING**

#### **8.1 Oorsig**

Die doel van die studie was om bekostigbare apparaat te ontwikkel waarmee akkurate kompensators vervaardig kan word vir gebruik in radioterapie. Verder moes 'n tegniek gevind word om die kontoere van die behandelingsarea op die pasiënt akkuraat te bepaal. Die resultaat van die projek is die suksesvolle ontwikkeling van 'n RNB-freesmasjien wat plaaslik uit bekostigbare komponente vervaardig is. Hierdie freesmasjien is ontwerp met die doel om 'n negatief van die beplande kompensator uit polistireen te masjineer. Kontoerdata van die behandelingsarea word deur rekenaartomografie bepaal. Die gesnyde holte in die polistireen word gevul met 'n kompenseringsmedium wat vir die doel ontwikkel is om 'n kompensator te voltooi. Toetsing van die kompensators onder gesimuleerde behandelingstoestande toon effektiewe kompensering vir ongelyke behandelingsareas tydens bestraling met hoë energie X-strale.

Hoofstuk 1 gee 'n uiteensetting van die probleemstelling, 'n hipotetiese oplossing vir die probleem, die doel en belangrikheid van die studie en die metode van ondersoek.



Hoofstuk 2 verduidelik wat kanker is en die behandeling daarvan deur radioterapie. Dit beskryf ook die verskillende X-straaleenhede en gee 'n basiese stralingsfisika agtergrond.

Hoofstuk 3 beskryf die effek van 'n ongelyke behandelingsarea op dosisverspreiding deur die liggaam en bestaande tegnieke om daarvoor te kompenseer. Die verskillende tegnieke om liggaamskontoure te bepaal word ook bespreek. Laastens word bestaande mediums waaruit kompensators vervaardig word bespreek.

Hoofstuk 4 stel 'n plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien bekend. Die apparaat word gebruik om 'n negatief van 'n kompensator uit polistireen te masjineer volgens rekenaartomografie kontoerdata. 'n Kort verduideliking word aangebied oor wat numeriese beheer is, gevolg deur 'n uiteensetting van die meganiese en elektroniese ontwerp en vervaardiging van die masjien.

Hoofstuk 5 bespreek die sagteware wat vir die beheer van die freesmasjien geskryf is.

Hoofstuk 6 beskryf die ontwikkeling en evaluering van 'n nuwe kompenseringsmedium. Hierdie medium word gebruik om die kompensator te giet waarvoor die freesmasjien 'n negatief uit polistireen gesny het.

Hoofstuk 7 evalueer die RNB-freesmasjien as deel van 'n kompensator-vervaardigingstegniek.

## 8.2 Verdere navorsingsvoorstelle

Die RNB-freesmasjien wat tydens die studie ontwikkel is, vervaardig 'n negatief van die beplande kompensator deur dit laag vir laag uit polistireen te masjineer. Die rede vir die tipe masjinerie is a.g.v. die beperkte lengte van die beskikbare snybeitel. Dit is moontlik om die kompensator-vervaardigingstyd te verkort deur masjinerie met 'n langer snybeitel. 'n Langer beitel bied egter aansienlike snyweerstand tydens diep snitte in polistireen wat die ontwikkeling van 'n meer kragtige freesmasjien noodsaak.

Indien so 'n apparaat instaat is om deur die polistireen blok te sny in 'n enkel snit, kan dit ook gebruik word vir die vervaardiging van afskermingsblokke. Hierdie blokke word in die bestralingsveld geplaas vir die afskerming van stralings sensitiewe organe soos bv. longe. Rekenaartomografie tesame met 'n behandelingsbeplanningsrekenaar kan gebruik word om die posisie van die betrokke organe binne die liggaam te bepaal. Hierdie data stel die RNB-freesmasjien instaat om gate in die polistireen te sny om ooreen te kom met die posisie van die organe in die bestralingsveld. 'n Lae smeltpunt allooï soos MCP 70™ word in die gate gegiet om as afskermingsblokke te dien tydens bestraling.

Dit is moontlik om 'n rekenaargesteunde kompensator-vervaardigingstechniek aan kleiner kankerafdelings beskikbaar te stel, wat nie toegang tot 'n rekenaartomograaf vir kontoerbepaling het nie. Hiervoor moet 'n alternatiewe metode van kontoerbepaling gevind word soos bv. die video gebaseerde tegniek

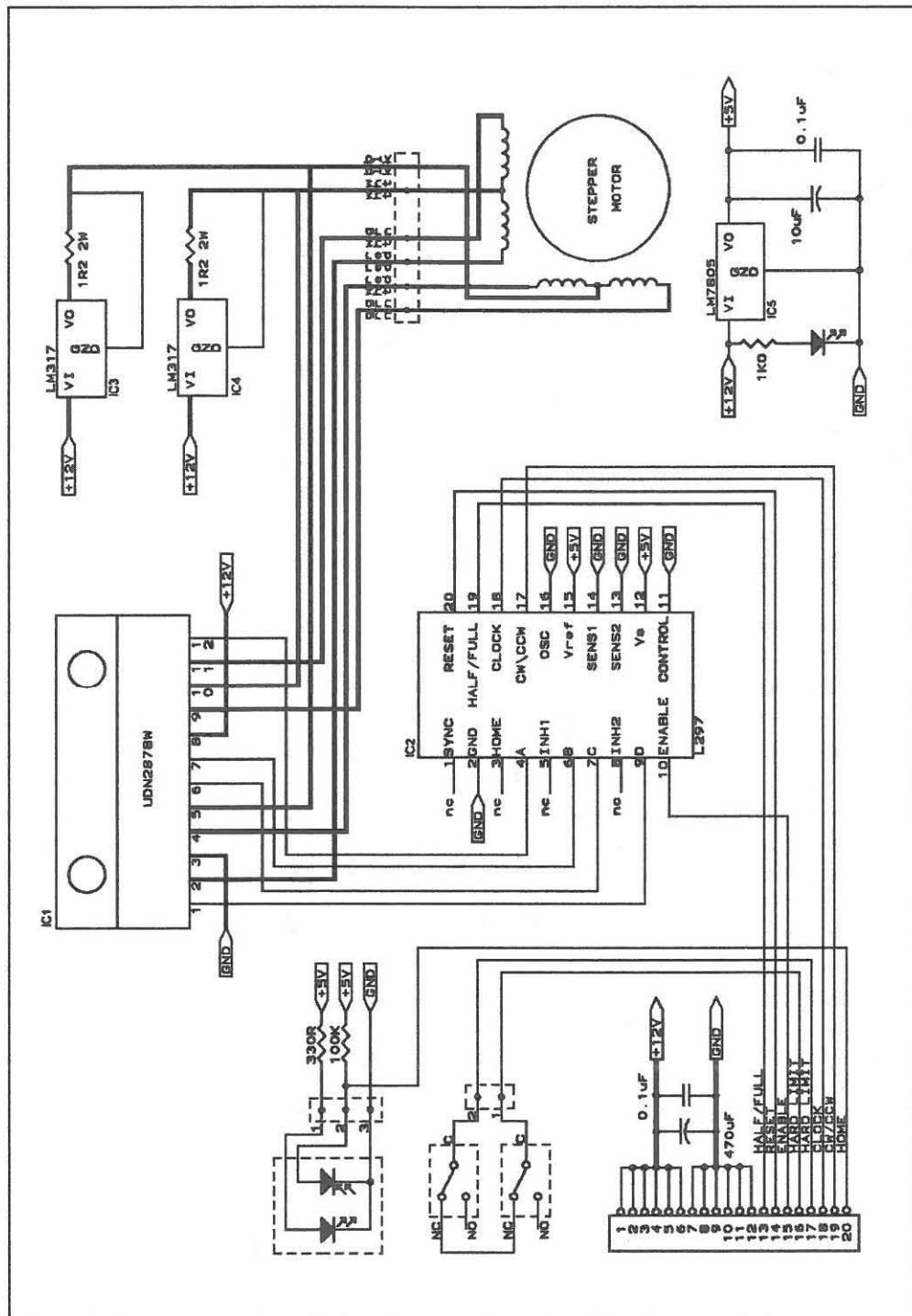
wat in afdeling 3.6.6 bespreek is. Die apparaat wat in die tegniek beskryf word is reeds in die handel beskikbaar maar teen 'n hoë prys. Indien die apparaat en die sagteware wat daarmee saamgaan plaaslik ontwikkel word, kan dit saam met 'n plaaslik ontwikkelde RNB-freesmasjien as 'n volledige kompenseringstelsel bemark word. Alhoewel dit nie met die tegniek moontlik is om vir variasie in digtheid binne die liggaam te kompenseer nie, is dit nogtans 'n verbetering op die ouer kompensator-vervaardigingstegnieke.

Dit is ook moontlik om afskermingsblokke sonder rekenaartomografie te vervaardig. Die posisie van stralings sensitiewe organe kan bepaal word vanaf 'n X-straaalfilm wat met 'n simulatoreenheid geneem is. Die film kan digitaal versyfer word waaruit 'n matriks van datapunte opgestel kan word waarvolgens 'n RNB-freesmasjien gate in polistireen kan sny vir afskermingsblokke.

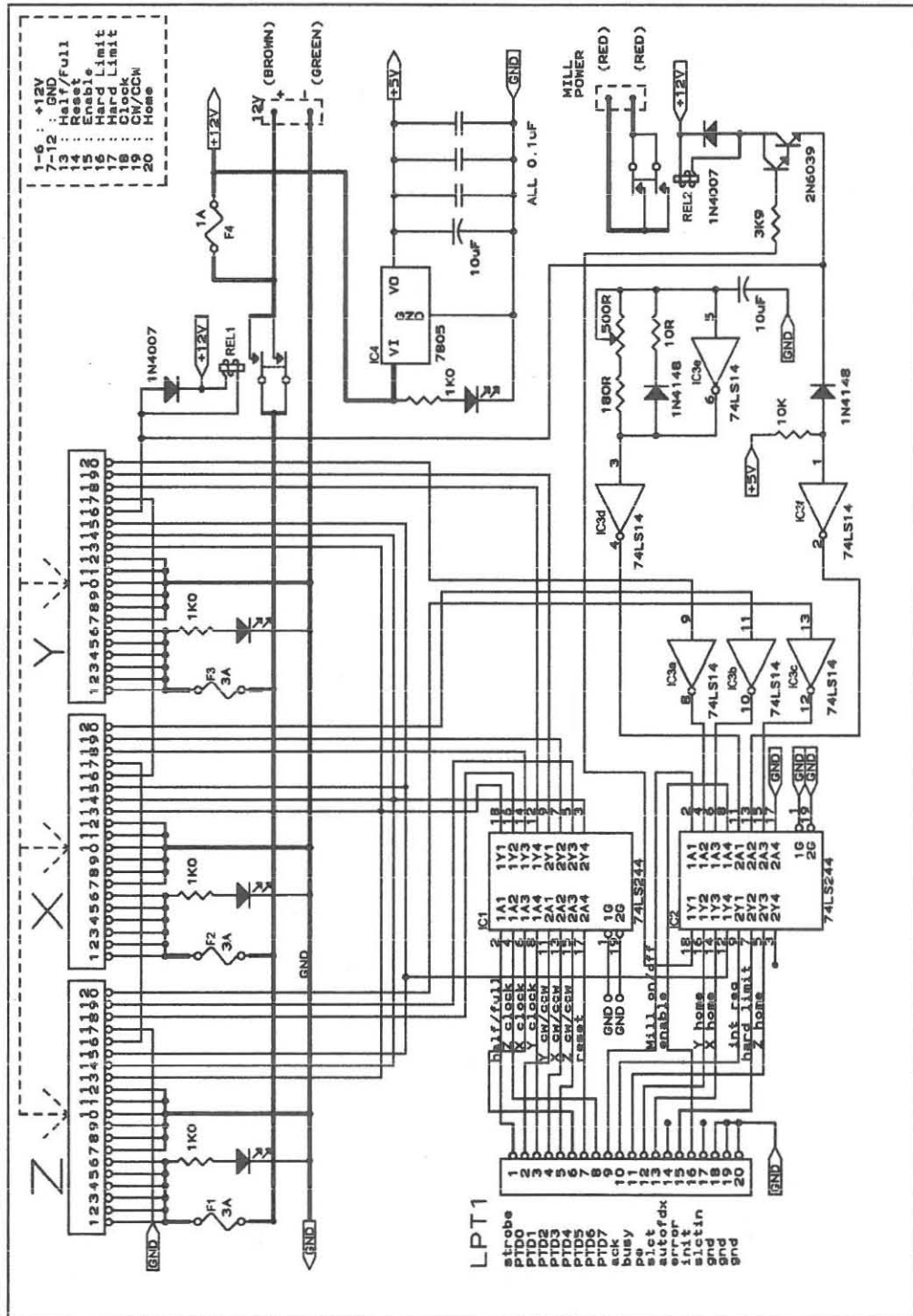
# **Bylaag A**

## **Elektroniese stroombane**

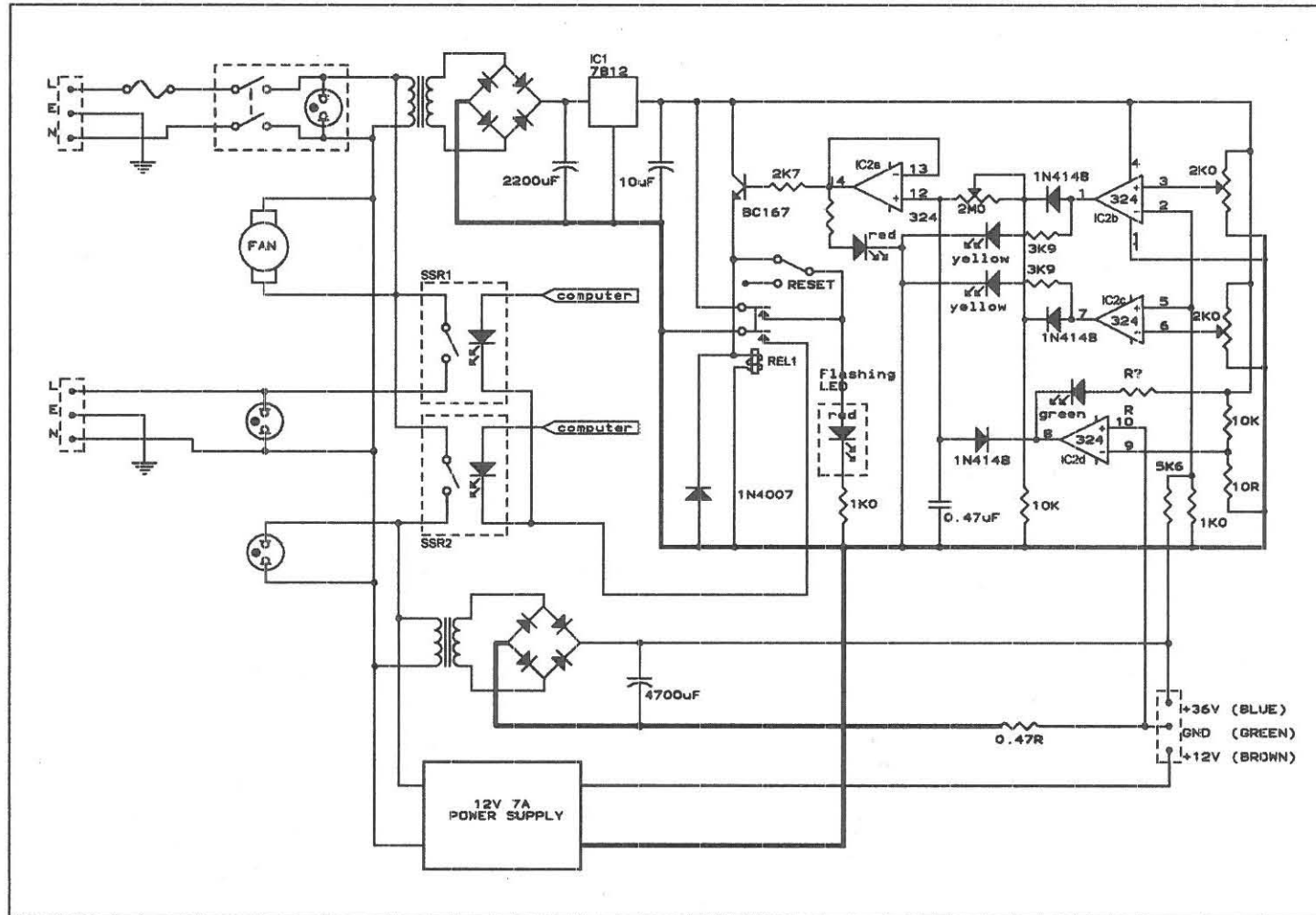




## A1 Stappermotor-drywer bord



A2 Koppelvlak bord



A3 Kragbron bord

## **Bylaag B**

### **Kompenseringsmedium metings**



## B1 Metings van Gips-was-olie teen 6 MV

Dikte (cm)	Lesing Gips/Was/Olie	%Transmissie (T) Gips/Was/Olie	$\ln(T(\text{Gips/Was/Olie}))$	$(\ln(T))/\text{dikte}$
0	882			
0.5	850	96.37188	4.568214	0.073911
1	822	93.19728	4.534719	0.070452
1.5	795	90.13605	4.50132	0.069233
2	770	87.30159	4.469369	0.067901
2.5	742	84.12698	4.432327	0.069137
3	722	81.85941	4.405003	0.066722
3.5	697	79.02494	4.369764	0.067259
4	675	76.53061	4.337691	0.06687
4.5	655	74.26304	4.307613	0.066124
5	632	71.65533	4.271868	0.066661
5.5	612	69.38776	4.23971	0.066447
6	592	67.12018	4.206485	0.066448
6.5	575	65.19274	4.177348	0.065819
7	557	63.15193	4.145543	0.065661
7.5	537	60.88435	4.108976	0.066159
8	522	59.18367	4.080646	0.065566
8.5	505	57.25624	4.047537	0.065604
9	490	55.55556	4.017384	0.06531
9.5	473	53.62812	3.982074	0.065589
10	460	52.1542	3.954205	<u>0.065097</u>
				0.067098 Gem.

## B2 Metings van Tandheelkundigewas teen 6MV

Dikte (cm)	Lesing Was	%Transmissie (T) Was	ln(T(Was))	(ln(T))/dikte
0	915			
0.5	896.8	98.0158	4.585129	0.040182
1	879.1	96.071	4.565088	0.040025
1.5	861.6	94.1648	4.545046	0.040089
2	844.5	92.2964	4.525005	0.04009
2.5	827.8	90.4651	4.504964	0.040061
3	811.3	88.6701	4.484923	0.040095
3.5	795.2	86.9107	4.464881	0.040094
4	779.5	85.1863	4.444841	0.040068
4.5	764	83.496	4.424799	0.040079
5	748.8	81.8393	4.404758	0.04009
5.5	734	80.2155	4.384717	0.040075
6	719.4	78.6239	4.364676	0.040084
6.5	705.1	77.0638	4.344634	0.04009
7	691.1	75.5348	4.324593	0.040091
7.5	677.4	74.036	4.304551	0.040088
8	664	72.567	4.28451	0.04008
8.5	650.8	71.1272	4.26447	0.040085
9	637.9	69.7159	4.244428	0.040083
9.5	625.2	68.3326	4.224387	0.04009
10	612.8	66.9768	4.204346	<u>0.040089</u>
				0.040086 Gem.

### B3 Metings van Gips-was-olie teen 8MV

Dikte (cm)	Lesing Gips/Was/Olie	%Transmissie (T) Gips/Was/Olie	$\ln(T(\text{Gips/Was/Olie}))$	$(\ln(T))/\text{dikte}$
0	146.5			
0.5	142	96.92833	4.573972	0.062397
1	138.5	94.53925	4.549015	0.056155
1.5	134.5	91.80887	4.519709	0.056974
2	130.4	89.01024	4.488751	0.058209
2.5	126.7	86.48464	4.459967	0.058081
3	122.9	83.89078	4.429516	0.058551
3.5	119.3	81.43345	4.399786	0.058681
4	115.9	79.11263	4.370873	0.058574
4.5	112.6	76.86007	4.341986	0.058485
5	109.9	75.01706	4.317716	0.057491
5.5	106.5	72.69625	4.28629	0.057978
6	103.2	70.44369	4.254814	0.058393
6.5	100.3	68.46416	4.22631	0.058286
7	97.5	66.5529	4.197997	0.058168
7.5	95.1	64.91468	4.173074	0.057613
8	92.1	62.86689	4.14102	0.058019
8.5	89.5	61.09215	4.112383	0.057975
9	86.9	59.31741	4.082903	0.05803
9.5	85	58.02048	4.060796	0.057303
10	82.8	56.51877	4.034573	<u>0.05706</u>
				0.058121 Gem.

#### B4 Metings van Tandheelkundigewas teen 8MV

Dikte (cm)	Lesing Was	%Transmissie (T) Was	ln(T(Was))	(ln(T))/dikte
0	763.8			
0.5	750.6	98.2707	4.587726	0.034866
1	737.6	96.5714	4.570283	0.034904
1.5	724.9	94.9014	4.552838	0.034848
2	712.3	93.2603	4.535395	0.034903
2.5	700	91.6475	4.51795	0.03489
3	687.9	90.0627	4.500506	0.034887
3.5	676	88.5053	4.483062	0.034889
4	664.3	86.9748	4.465618	0.034893
4.5	652.8	85.4707	4.448174	0.034897
5	641.5	83.9927	4.43073	0.034899
5.5	630.4	82.5402	4.413285	0.0349
6	619.5	81.1129	4.395842	0.034899
6.5	608.8	79.7102	4.378398	0.034895
7	598.3	78.3318	4.360954	0.034888
7.5	588	76.9772	4.343509	0.034877
8	577.8	75.6461	4.326066	0.034885
8.5	567.8	74.338	4.308622	0.034887
9	558	73.0525	4.291178	0.034883
9.5	548.3	71.7892	4.273734	0.034893
10	538.8	70.5477	4.256289	<u>0.034896</u>
				0.034889 Gem.

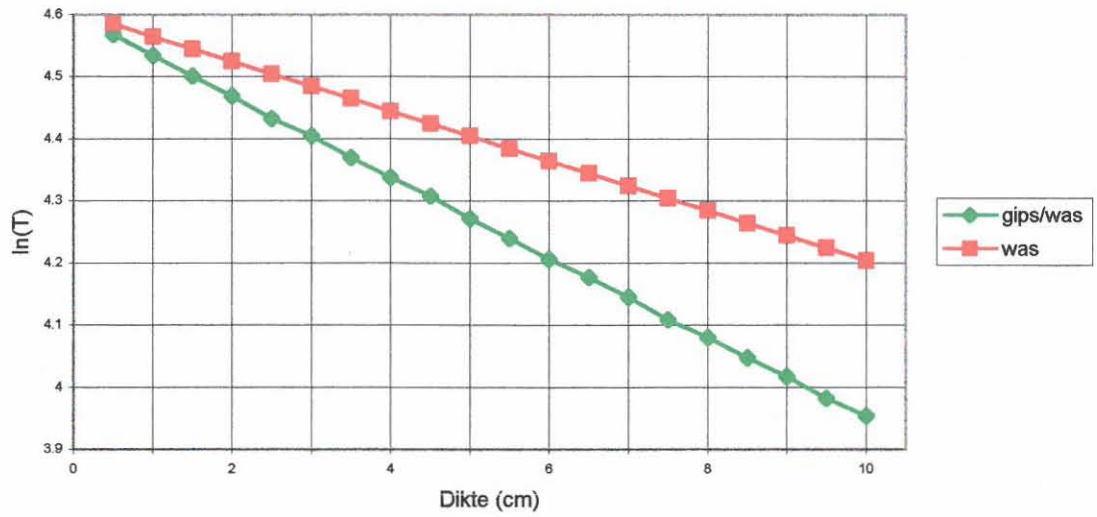


## B5 Metings van Gips-was-olie teen 15MV

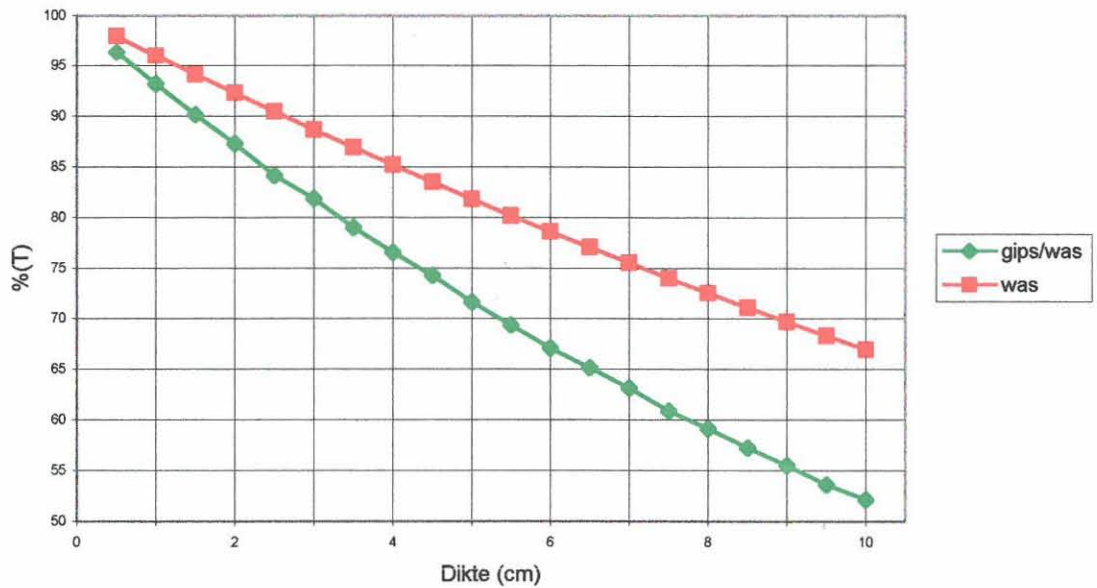
Dikte (cm)	Lesing Gips/Was/Olie	%Transmissie (T) Gips/Was/Olie	$\ln(T(\text{Gips/Was/Olie}))$	$(\ln(T))/\text{dikte}$
0	768.7			
0.5	749	97.43723	4.579208	0.051924
1	731.3	95.13464	4.555293	0.049877
1.5	713.1	92.76701	4.530091	0.050053
2	697.3	90.71159	4.507685	0.048743
2.5	679.2	88.35697	4.481385	0.049514
3	664.2	86.40562	4.459053	0.048706
3.5	648	84.29817	4.43436	0.048803
4	633	82.34682	4.41094	0.048558
4.5	617.8	80.36945	4.386634	0.048564
5	603.8	78.5482	4.363712	0.048292
5.5	589.2	76.64889	4.339235	0.048352
6	575.3	74.84064	4.315361	0.048302
6.5	562.2	73.13646	4.292327	0.04813
7	550.4	71.6014	4.271115	0.047722
7.5	536.2	69.75413	4.244977	0.048026
8	523.1	68.04995	4.220242	0.048116
8.5	511.3	66.5149	4.197426	0.04797
9	499.9	65.03187	4.174877	0.04781
9.5	487.9	63.47079	4.15058	0.047852
10	477	62.05282	4.127986	<u>0.047718</u>
				0.048651 Gem.

## B6 Metings van Tandheelkundigewas teen 15MV

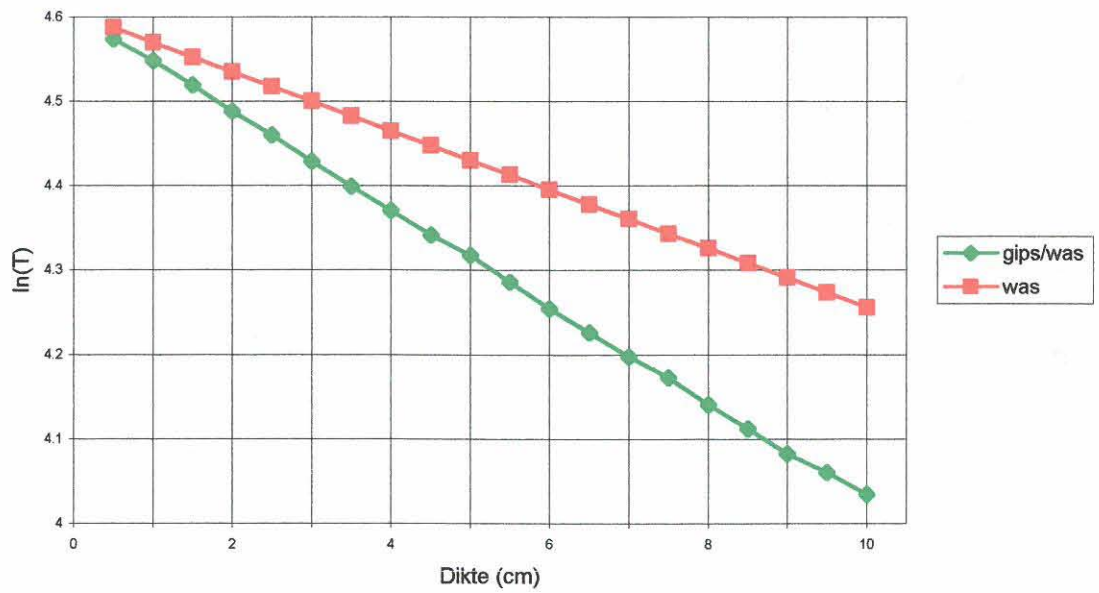
Dikte (cm)	Lesing Was	%Transmissie (T) Was	ln(T(Was))	(ln(T))/dikte
0	800.4			
0.5	789.3	98.6111	4.591184	0.02793
1	778.3	97.2415	4.577198	0.028
1.5	767.5	95.891	4.563212	0.027982
2	756.9	94.5591	4.549225	0.02794
2.5	746.3	93.2458	4.535239	0.027994
3	736	91.9508	4.521254	0.02796
3.5	725.8	90.6737	4.507267	0.027953
4	715.7	89.4143	4.493281	0.027963
4.5	705.7	88.1725	4.479295	0.027983
5	696	86.9479	4.465309	0.027952
5.5	686.3	85.7403	4.451323	0.027963
6	676.7	84.5494	4.437336	0.027981
6.5	667.3	83.3751	4.42335	0.02798
7	658.1	82.2172	4.409365	0.027965
7.5	649	81.0753	4.395378	0.027957
8	640	79.9492	4.381391	0.027955
8.5	631	78.8388	4.367405	0.027977
9	622.3	77.7438	4.353419	0.027965
9.5	613.6	76.6641	4.339434	0.027976
10	605.1	75.5993	4.325447	<u>0.027972</u>
				0.027967 Gem.



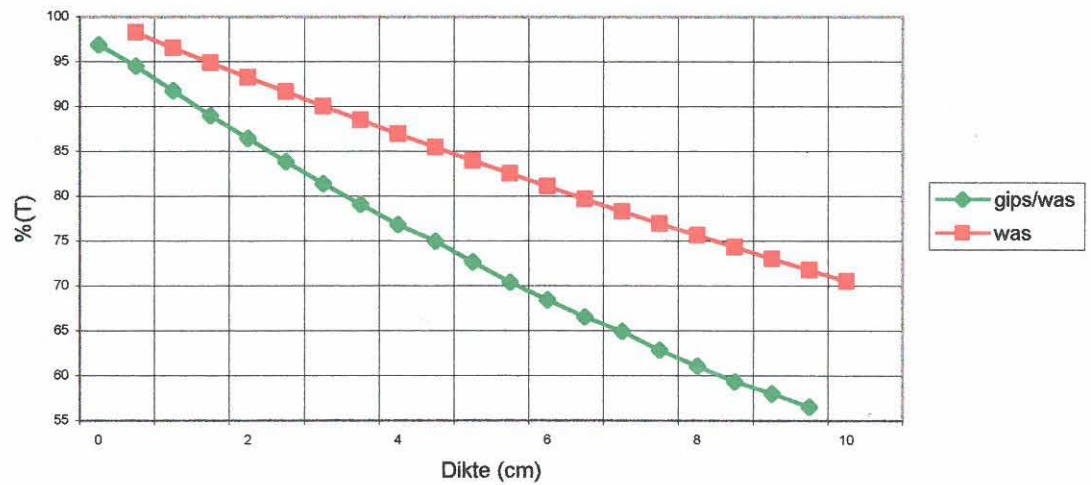
B7 Grafiek van  $\ln(T)$  teen dikte by 6MV



B8 Grafiek van  $\%(T)$  teen dikte by 6MV

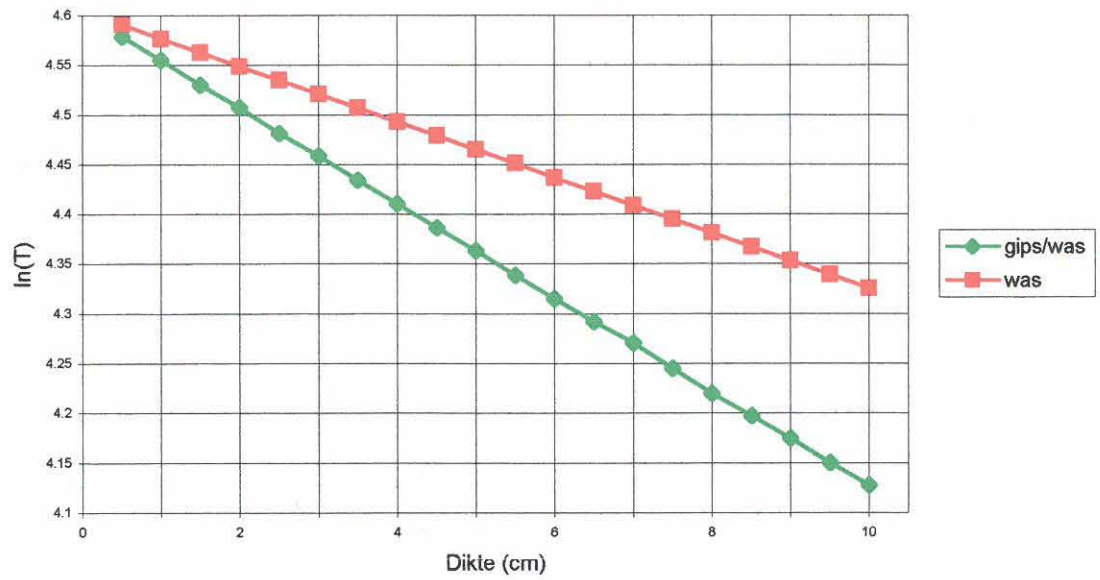


B9 Grafiek van  $\ln(T)$  teen dikte by 8MV

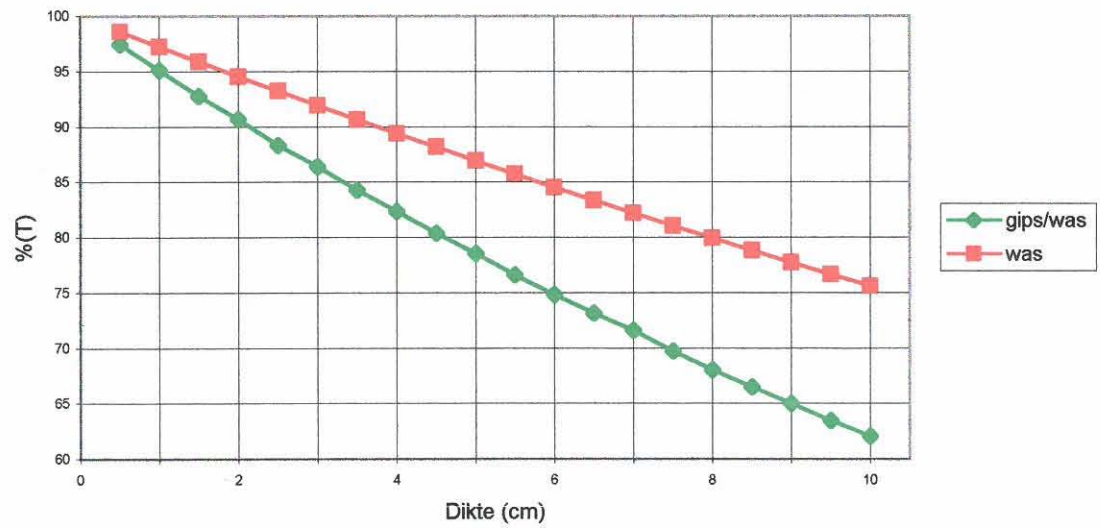


B10 Grafiek van  $\%(T)$  teen dikte by 8MV





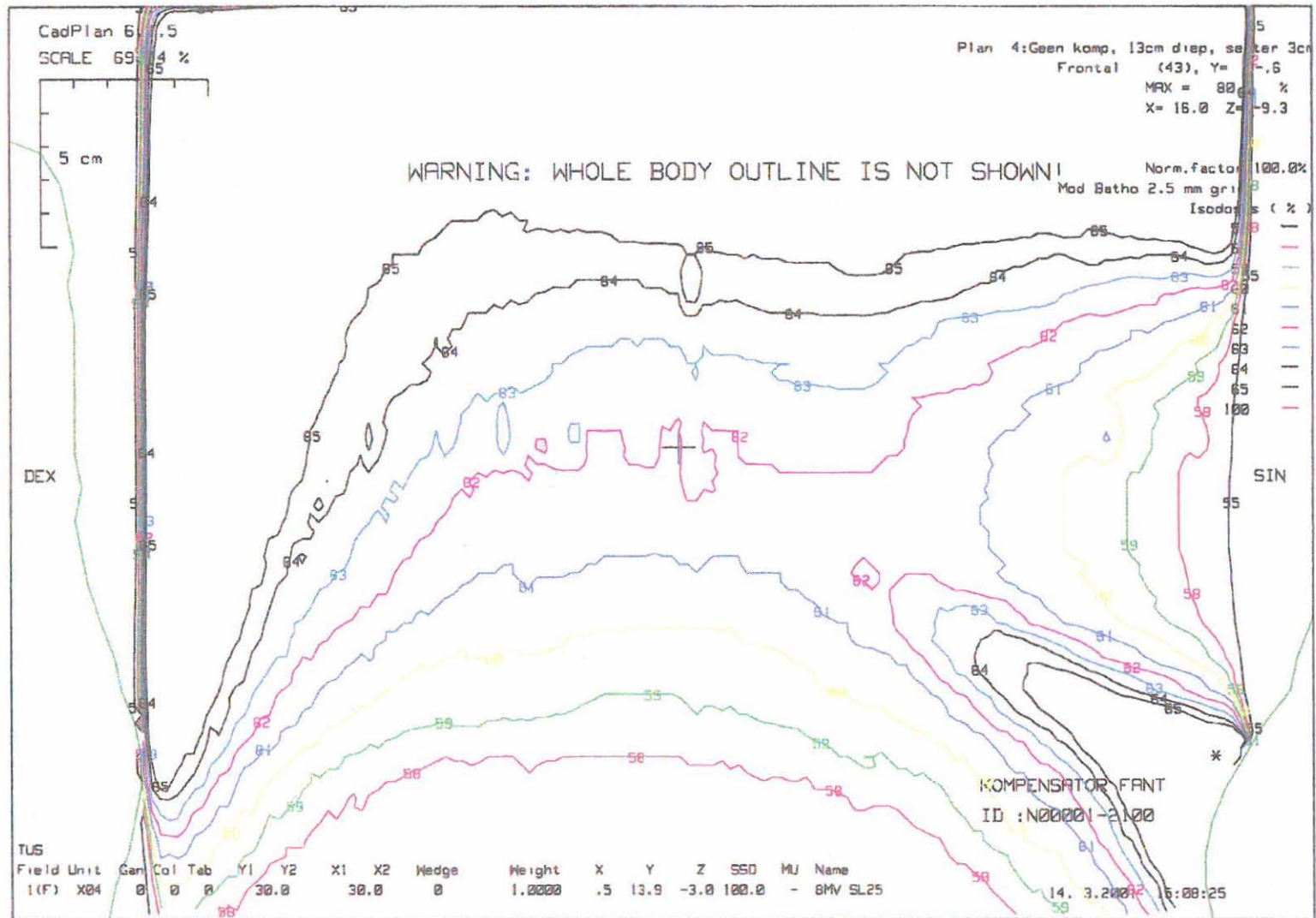
B11 Grafiek van  $\ln(T)$  teen dikte by 15MV



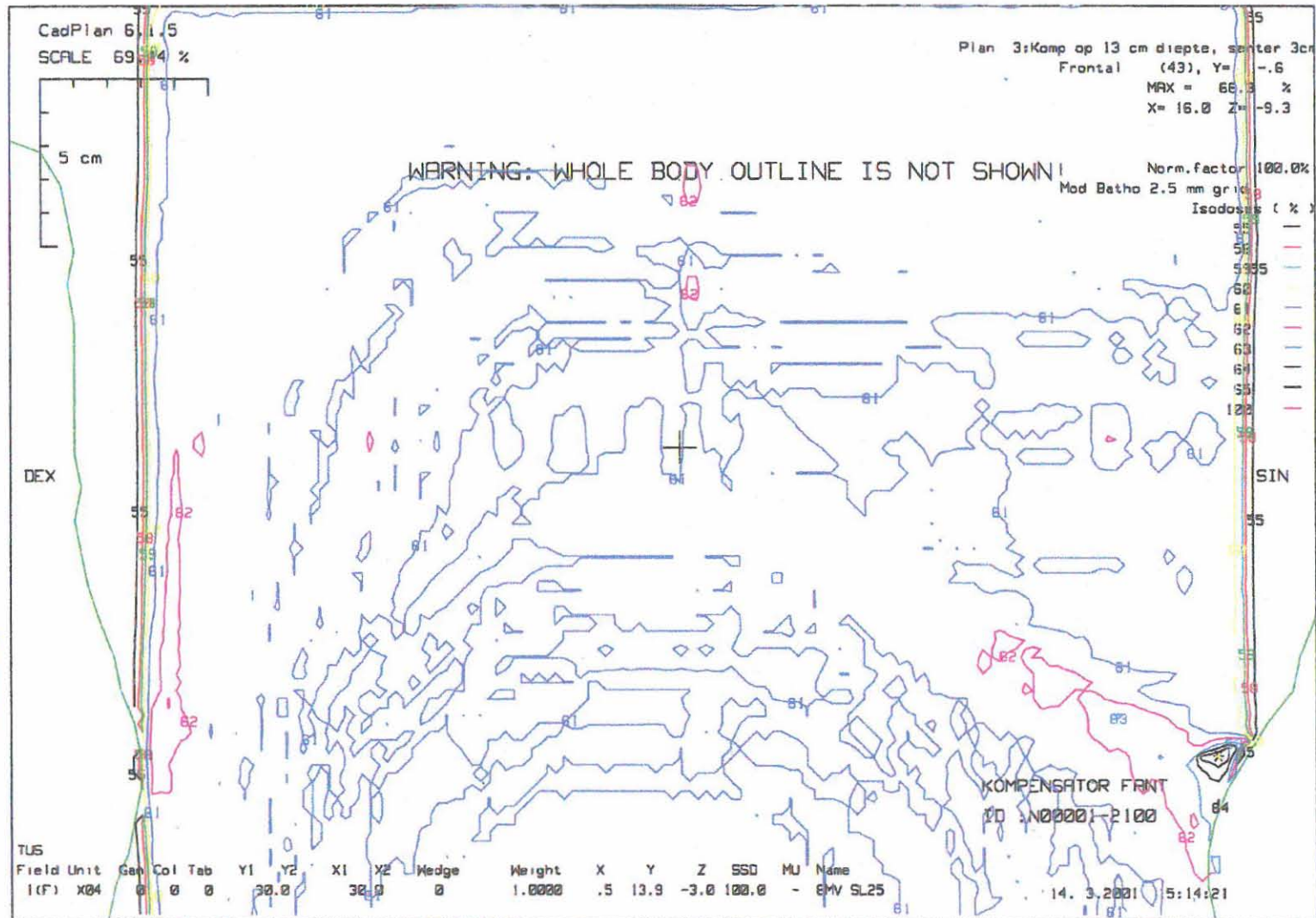
B12 Grafiek van  $\%(T)$  teen dikte by 15MV

## **Bylaag C**

### **Isodosis- en isodigtheidskrommes**



C1 Isodosiskrommes (Cadplan: sonder kompensator)

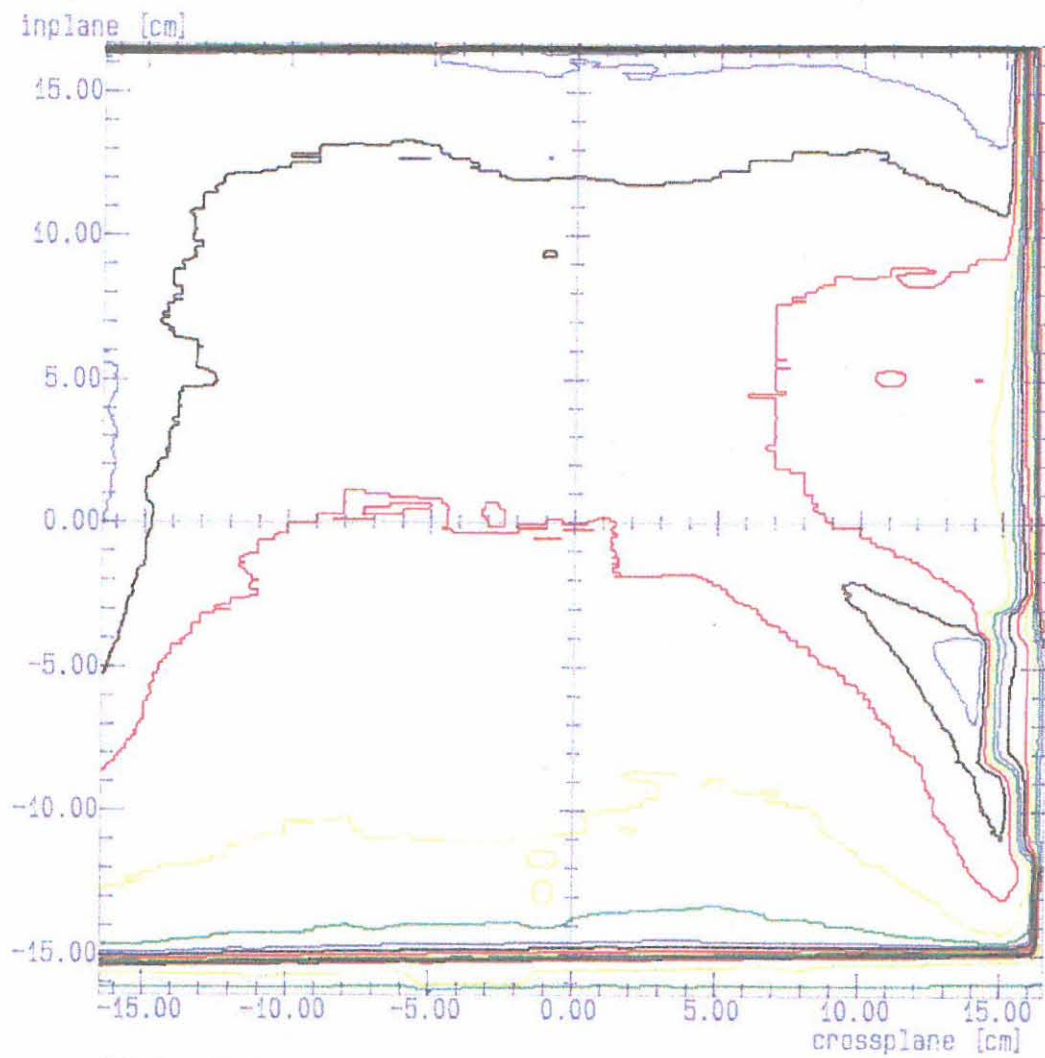


C2 Isodosiskrommes (Cadplan: met kompensator)



10.0%  
20.0%  
30.0%  
40.0%  
50.0%  
55.0%  
60.0%  
65.0%  
70.0%  
75.0%  
80.0%  
85.0%  
90.0%  
95.0%  
100.0%  
105.0%  
110.0%

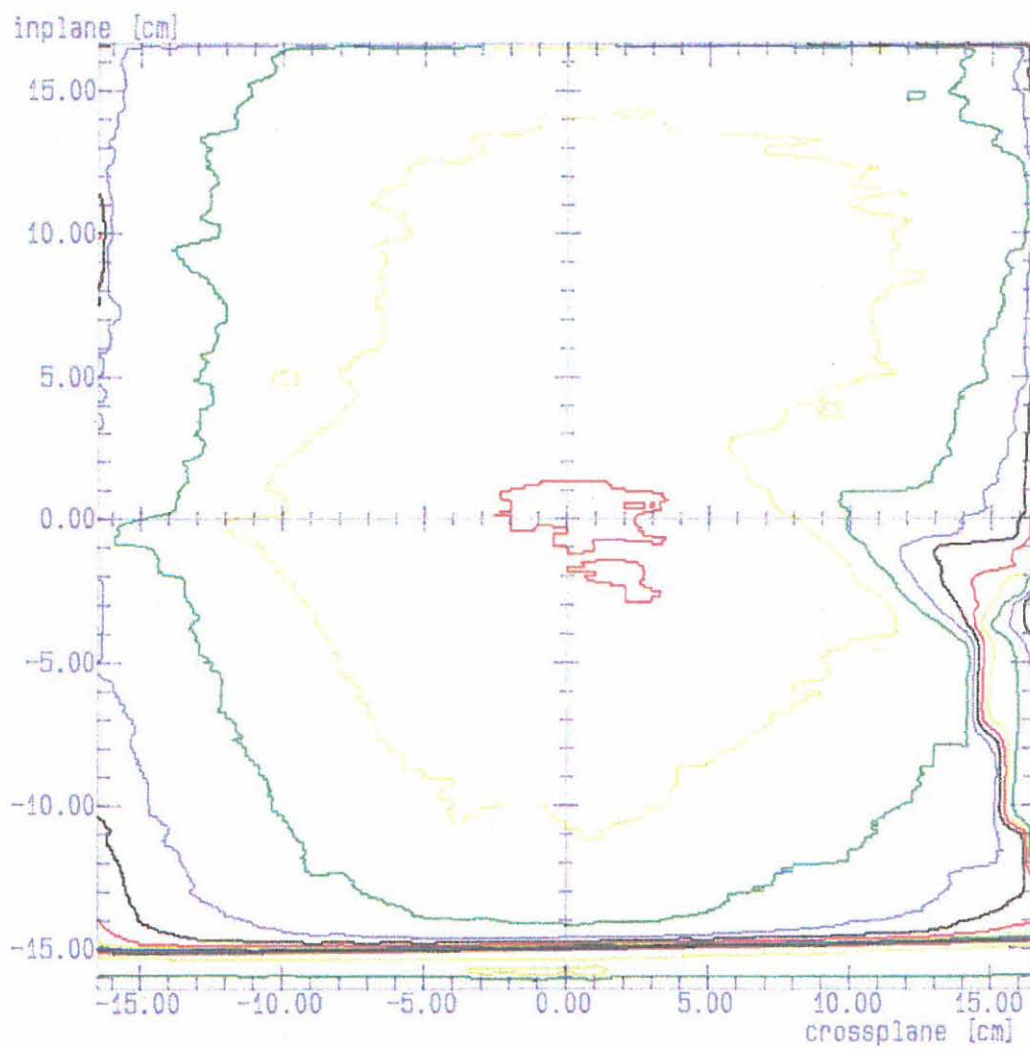
field size: 30\*30 cm



C3 Isodigtheidskrommes (sonder kompensator)

10.0%  
30.0%  
50.0%  
55.0%  
60.0%  
65.0%  
75.0%  
80.0%  
85.0%  
90.0%  
100.0%

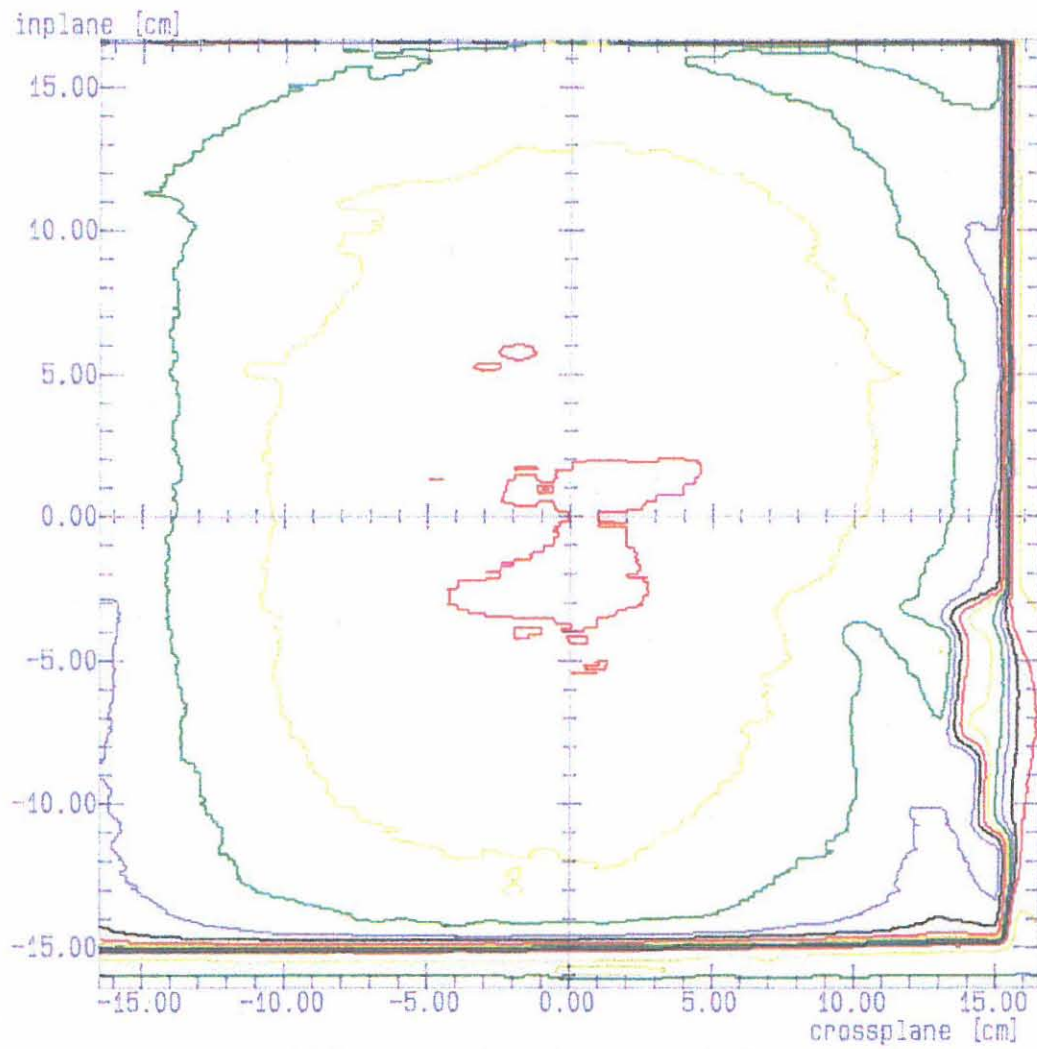
field size: 30\*30 cm



C4 Isodigtheidskrommes (aluminium kompensator)

10.0%  
30.0%  
50.0%  
55.0%  
60.0%  
65.0%  
70.0%  
75.0%  
80.0%  
85.0%  
90.0%  
95.0%  
100.0%

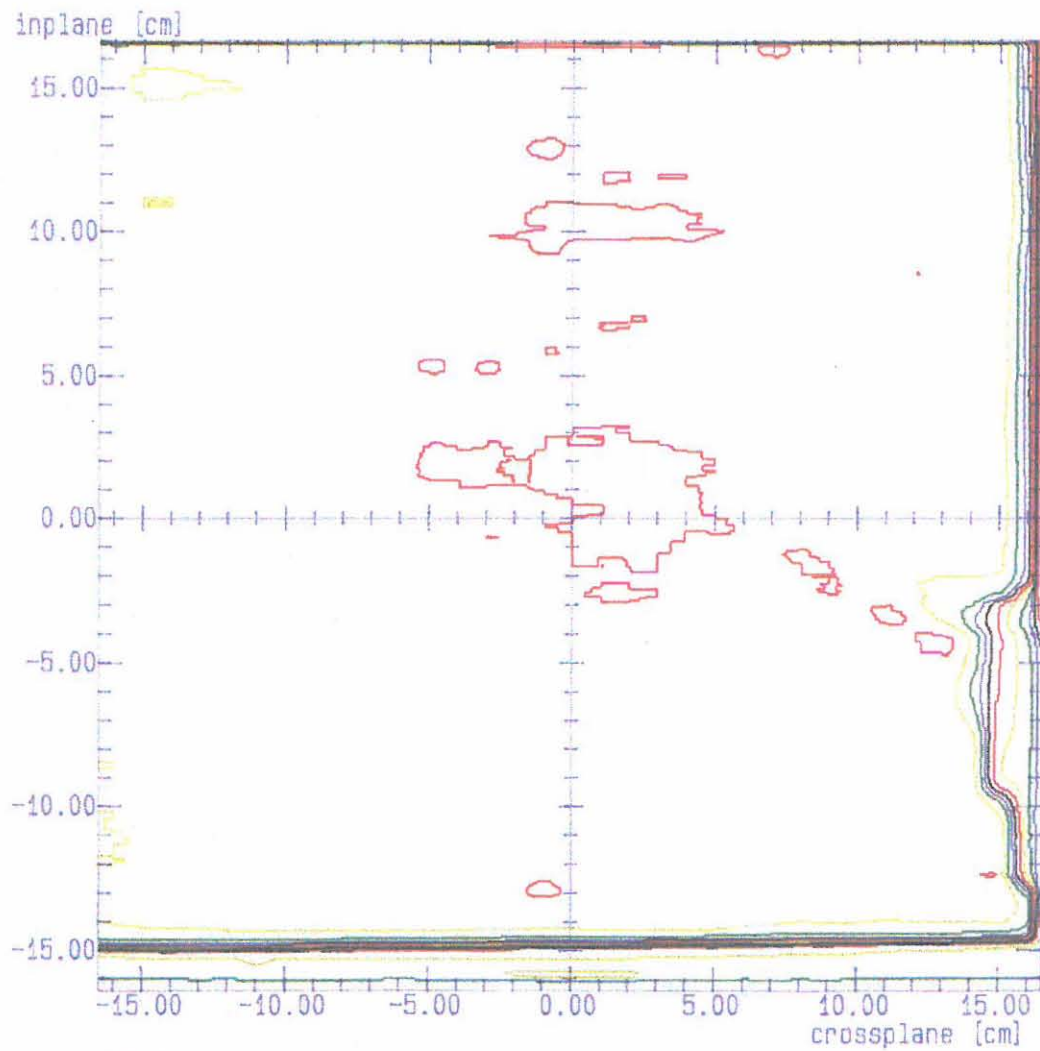
field size: 30\*30 cm



C5 Isodigtheidskrommes (was kompensator)

10.0%  
30.0%  
50.0%  
55.0%  
60.0%  
65.0%  
70.0%  
75.0%  
80.0%  
85.0%  
90.0%  
95.0%  
100.0%

field size: 30\*30 cm



C6 Isodigtheidskrommes (gips-was kompensator)



## LITERATUURLYS

1.   Alberts, A.S. Kennis klop Kanker. Pretoria: Haum-Tersier, 1993.
2.   Aldrich, J.E. & Andrew, J.W. Self-adhesive lead for compensator production and radiation shielding. Medical Physics, vol. 19, no. 2, 1992, pp. 361 – 362.
3.   Andrew, J.W. & Aldrich, J.E. A microcomputer – based system for radiotherapy beam compensator design and patient contour plotting. Medical Physics, vol. 9, no. 2, 1982, pp. 279 – 283.
4.   Andrew, J.W. & Aldrich, J.E. A video – based patient contour aquisition system for the design of radiotherapy compensators. Medical Physics, vol. 16, no. 3, 1989, pp. 425 – 430.
5.   Ansbacher, W. & Robinson, M. & Scrimger, J.W. Missing tissue compensators: Evaluation and optimization of a commercial system. Medical Physics, vol. 19, no. 5, 1992, pp. 1267 – 1272.
6.   Arora , V. R. & Weeks, K. J. Characterization of gypsum attenuators for radiotherapy dose modification. Medical Physics, vol. 21, no. 1, 1994, pp. 77 – 81.

7. Beck, G.G. & McGonnagle, W.J. & Sullivan, C.A. Use of a styrofoam block cutter to make tissue – equivalent compensators. Radiology, vol. 100, 1971, pp. 694 – 696.
8. Boge, R.J. & Edland, R.W. & Matthes, D.C. Tissue compensators for megavoltage radiotherapy fabricated from hollowed styrofoam filled with wax. Radiology, vol. 111, 1974, pp. 193 – 198.
9. Boyer, A.L. & Goitein, M. Simulator mounted Moiré topography camera for constructing compensating filters. Medical Physics, vol. 7, no. 1, 1980, pp. 19 – 26.
10. Chu, T. & Lee, K. A technique for the evaluation of a missing tissue compensator system. Medical Physics, vol. 20, no. 3, 1993, pp. 713-716.
11. Ellis, F. & Hall, E.J. & Oliver, R. A compensator for variation in tissue thickness for high energy beams. British Journal of Radiology, vol. 32, no. 378, 1959, pp. 421 – 422.
12. Gibbs, D. An introduction to CNC Machining. 2nd Edition. London: Cassell Publishers Limited, 1992.

13. Hall, E.J. & Oliver, R. The use of standard isodose distributions with energy radiation beams – The accuracy of a compensator technique in correcting for body contours. British Journal of Radiology, vol. 34, no. 397, 1961, pp. 43 – 52.
14. Jursinic, P. A. & Podgorsak, M. B. & Paliwal, B. R. Implementation of a three-dimensional compensation system based on computed tomography generated surface contours and tissue inhomogeneities. Medical Physics, vol. 21, no. 3, 1994, pp. 357 – 365.
15. Khan, F.M. The Physics of Radiotherapy. Baltimore: Williams and Wilkins, 1984.
16. Khan, F. M. & Moore, V. C. & Burns, D. J. An apparatus for the construction of irregular surface compensators for use in radiotherapy. Radiology, vol. 90, 1968, pp. 593 – 594.
17. Lam, W.C. & Lam, K.S. & Lee, D.J. & O'Neill, M.J. Tissue compensator fabrication using a simple photographic technique. Radiology, vol. 149, 1983, pp. 322 – 323.
18. Laursen, J.F. & Andersen, H.C. & Hansen, H.P. 3D thin lead sheet compensating system. Medical Physics, vol. 9, no. 5, 1982, pp. 741 – 745.

19. Leatham-Jones, B. Introduction to Computer Numerical Control. Essex: Addison Wesley Longman Limited, 1996.
20. Leung, M.K. & Van Dyk, J. & Robins, J. A method of large irregular field compensation. British Journal of Radiology, vol. 47, no. 563, 1974, pp. 805 – 810.
21. Mejaddem, Y. & Lax, I. & Adakkai, S. Procedure for accurate fabrication of tissue compensators with high-density material. Physics in Medicine & Biology, vol. 42, no. 2, 1997, pp. 415 – 421.
22. O'Donnell, J.F. Oncology for the House Officer. Baltimore: Williams and Wilkins, 1992.
23. Philips technical service. SL75-14 Medical Linear Accelerator. England: M.E.L., Crawley, vol. 1, no. 1109-3, 1981.
24. Van de Geijn, J. The construction of individualized intensity modifying filters in cobalt 60 teletherapy. British Journal of Radiology, vol. 38, no. 455, 1964, pp. 865 – 870.